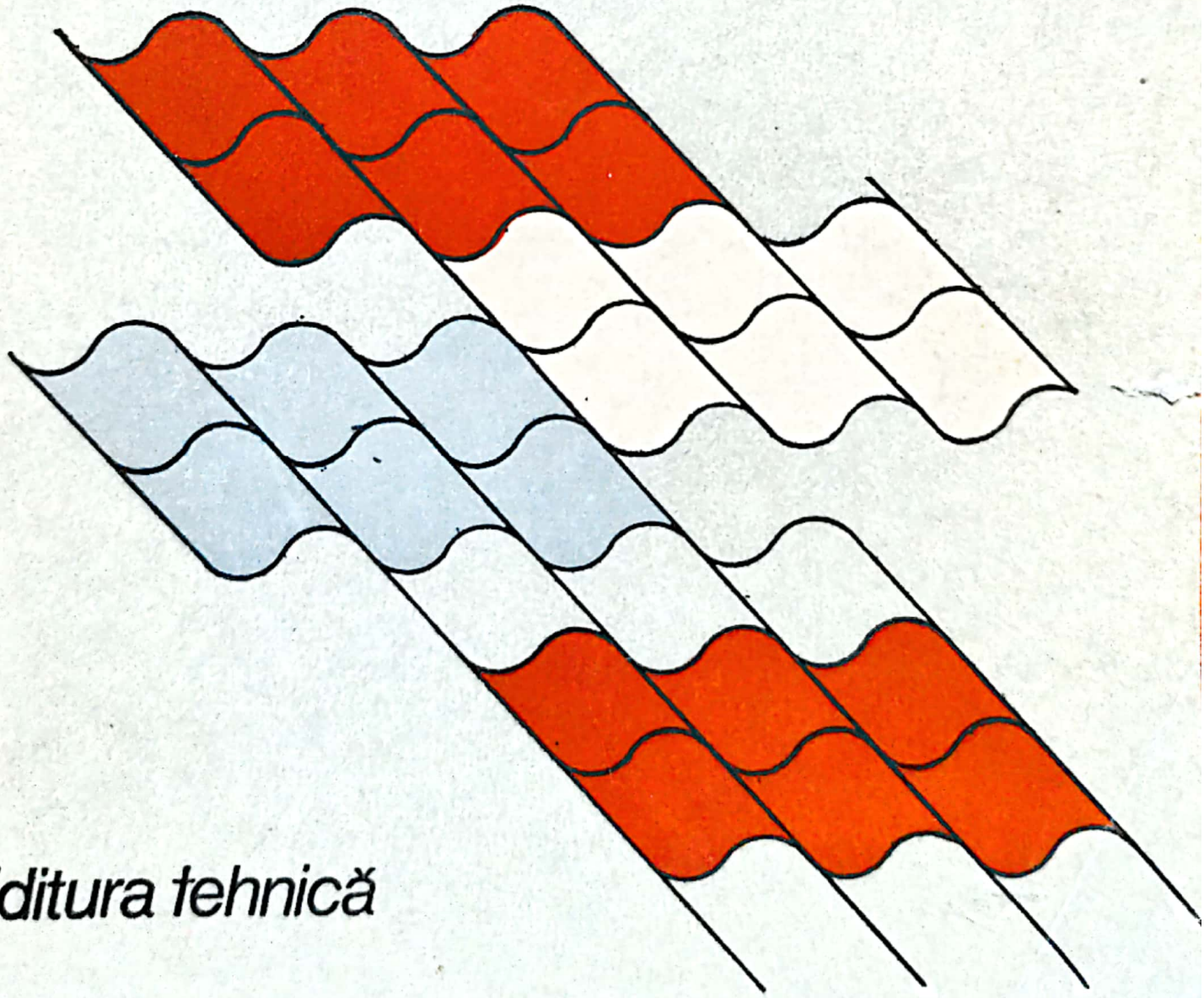
M.Georgescu A.Puri M.Thaler

LIANȚI ANORGANICI · AZBOCIMENT



Editura tehnică

Scanned with OKEN Scanner

Dr. ing. MARIA GEORGESCU
Ing. ANNEMARIE PURI
Ing. MIHAI THALER

LIANŢI ANORGANICI AZBOCIMENT

Editura tehnică – București

Scanned with OKEN Scanner

În lucrare se tratează lianții anorganici utilizați cu precădere în construcții, a căror întărire este condiționată de interacția cu apa a pulberilor de liant.

În prima parte se descriu materiile prime folosite la obținerea lianților și procedeele de extragere a lor din zăcămînt. Pentru a evita eventualele repetări la descrierea tehnologiilor proprii diferiților lianți, în continuare se tratează unele operații importante, comune multor tehnologii, cum sînt: transportul, mărunțirea, clasarea, depozitarea.

Se descriu apoi proprietățile și tehnologiile de fabricare a varului aerian, a lianților pe bază de ipsos, a cimentului portland, precum și a unor cimenturi speciale.

În ultima parte se descriu proprietățile și tehnologia obținerii produselor din azbociment.

Descrierea chimismului proceselor de obținere a lianților, precum și descrierea utilajelor folosite pentru realizarea acestora, se face apelînd la noțiunile teoretice strict necesare. Lucrarea este însoțită de aplicații numerice fapt ce ridică gradul ei de utilitate.

Prin conținutul ei, cartea se adresează unui cerc larg de cititori — tehnologi din industria lianților, putînd fi utilă și elevilor și studenților din învățămîntul de specialitate.

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

Introducere

Lianți anorganici ; definire, istoric, clasificare 7

1. **Materii prime utilizate la fabricarea lianților și azbocimentului** 11
   1.1. Clasificarea materiilor prime 11
   1.2. Descrierea materiilor prime 12
      1.2.1. Materii prime principale 12
      1.2.2. Materii prime auxiliare 17

2. **Exploatarea și transportul materiilor prime** 19
   2.1. Exploatarea materiilor prime 19
      2.1.1. Descopertarea 20
      2.1.2. Derocarea rocii utile (abatajul) 20
   2.2. Mașini pentru extragerea și încărcarea materiilor prime 24
      2.2.1. Excavatoare cu o cupă 24
      2.2.2. Excavatoare cu mai multe cupe 24
   2.3. Transportul materiilor prime de la carieră la fabrică 25

3. **Transportul uzinal și depozitarea materialelor** 27
   3.1. Transportul uzinal 27
      3.1.1. Transportoare cu bandă 27
      3.1.2. Transportoare cu plăci articulate 31
      3.1.3. Transportoare cu racleți 32
      3.1.4. Elevatoare cu cupe 33
      3.1.5. Transportoare elicoidale 36
      3.1.6. Transportul pneumatic 38
   3.2. Depozitarea materialelor 43
      3.2.1. Definirea și rolul depozitării 43
      3.2.2. Exploatarea buncărelor și a silozurilor 44
      3.2.3. Formarea și exploatarea halelor și haldelor 48
      3.2.4. Utilaje pentru formarea haldelor 51
      3.2.5. Extragerea materialului granular din halde 52

4. **Mărunțirea și clasificarea materialelor** 55
   4.1. Mașini și procedee de mărunțire 55
      4.1.1. Clasificarea mașinilor de mărunțire 55
      4.1.2. Gradul de mărunțire 56

Scanned with OKEN Scanner

4.1.3. Maşini pentru mărunţirea preliminară 57
4.1.4. Maşini pentru mărunţirea fină 65
4.2. Clasarea materialelor granulare 78
4.2.1. Clasarea volumetrică 78
4.2.2. Clasarea pneumatică 81

5. **Var aerian** 85
5.1. Definire. Tipuri de var aerian 85
5.2. Chimismul proceselor care au loc la obţinerea şi întărirea varului 86
5.2.1. Procese fizico-chimice la arderea varului 86
5.2.2. Reactivitatea varului 89
5.2.3. Hidratarea şi întărirea varului aerian 89
5.3. Tehnologia fabricării varului aerian 90
5.3.1. Fabricarea varului aerian nestins 90
5.3.2. Stingerea varului 96
5.3.3. Controlul producţiei şi calităţii varului 99
5.4. Aplicaţii 101

6. **Lianţi pe bază de ipsos** 103
6.1. Definire. Tipuri de lianţi pe bază de ipsos 103
6.2. Procese fizico-chimice la formarea şi întărirea lianţilor pe bază de ipsos 104
6.2.1. Deshidratarea ghipsului 104
6.2.2. Întărirea lianţilor pe bază de ipsos 105
6.3. Ipsos pe bază de semihidrat fără adaosuri 106
6.3.1. Forme polimorfe ale ipsosului semihidrat. Condiţii de obţinere. Proprietăţi specifice 106
6.3.2. Metode de fabricare a ipsosului semihidrat 106
6.3.3. Proprietăţile ipsosurilor pe bază de semihidrat.. Întrebuinţări 114
6.4. Lianţi unitari pe bază de anhidrit 116
6.4.1. Ciment de anhidrit 116
6.4.2. Ipsos de pardoseală 118
6.5. Controlul producţiei şi calităţii ipsosului 119
6.6. Aplicaţii 121

7. **Ciment portland** 124
7.1. Caracterizarea chimico-mineralogică şi modulară a clincherului de ciment portland 124
7.1.1. Compoziţia chimică a clincherului portland 124
7.1.2. Compoziţia mineralogică a clincherului de ciment portland 125
7.1.3. Locul cimentului portland în sistemul $CaO—SiO_2—Al_2O_3—Fe_2O_3$ 128
7.1.4. Modularea în chimia cimentului portland 128
7.1.5. Calculul compoziţiei mineralogice a clincherului de ciment portland 130
7.1.6. Aplicaţii 133
7.2. Procese fizico-chimice care au loc la arderea şi răcirea clincherului portland 135
7.2.1. Reacţii care au loc la arderea amestecului brut 135
7.2.2. Răcirea clincherului 137
7.2.3. Mineralizatori ai procesului de formare a clincherului de ciment portland 139
7.3. Hidratarea şi întărirea cimentului portland 140
7.3.1. Hidratarea silicaţilor de calciu 140
7.3.2. Hidratarea aluminaţilor de calciu 141

Scanned with OKEN Scanner

7.3.3. Hidratarea compușilor conținînd Fe_2O_3 142
7.3.4. Întărirea sistemului ciment portland—apă 143
7.3.5. Factori care influențează procesul de întărire 144
7.3.6. Aplicații 146
7.4. Proprietățile cimentului portland 148
7.4.1. Densitatea și greutatea volumică a cimentului portland ... 148
7.4.2. Apa pentru pasta de consistență normală 148
7.4.3. Timpul de priză 149
7.4.4. Variația de volum în timpul întăririi 150
7.4.5. Căldura degajată la hidratare 150
7.4.6. Rezistența mecanică a cimentului portland 151
7.4.7. Comportarea cimentului portland față de acțiunea unor agenți corosivi 156
7.5. Procedee de fabricare a cimentului portland 159
7.5.1. Procedeul uscat de fabricare a cimentului portland 159
7.5.2. Procedeul umed de fabricare a cimentului portland 162
7.5.3. Procedeul semiumed și semiuscat de fabricare a cimentului portland 163
7.5.4. Criterii pentru alegerea procedeului de fabricare a cimentului portland 163
7.6. Prepararea amestecului brut 164
7.6.1. Calculul compoziției amestecului brut pentru fabricarea clincherului de ciment portland 164
7.6.2. Stocarea și preomogenizarea materiilor prime 168
7.6.3. Concasarea materiilor prime 169
7.6.4. Uscarea materiilor prime 171
7.6.5. Măcinarea materiilor prime. Factori care influențează randamentul procesului de măcinare 172
7.6.6. Fluidificarea amestecului brut 178
7.6.7. Omogenizarea și păstrarea (depozitarea) amestecului brut ... 180
7.6.8. Corectarea amestecului brut 186
7.6.9. Transportul amestecului brut 189
7.6.10. Aplicații 190
7.7. Tipuri de instalații folosite la arderea clincherului de ciment portland 195
7.7.1. Cuptoare cu dispozitive interioare de recuperare a căldurii 200
7.7.2. Cuptoare cu schimbătoare de căldură exterioare 201
7.7.3. Alte tipuri de cuptoare 207
7.7.4. Răcirea clincherului 209
7.7.5. Căptușeala refractară a cuptoarelor de clincher 213
7.7.6. Înzidirea cuptoarelor de clincher 218
7.8. Păstrarea clincherului și măcinarea cimentului 219
7.8.1. Păstrarea clincherului 219
7.8.2. Măcinarea cimentului 220
7.9. Depozitarea și livrarea cimentului 225
7.9.1. Depozitarea cimentului 226
7.9.2. Livrarea cimentului 228
7.10. Controlul producției și calității cimentului portland 228

8. Tipuri speciale de ciment portland 230

8.1. Ciment cu rezistențe inițiale mari (RIM) 230
8.1.1. Definire 230
8.1.2. Factori care condiționează obținerea cimentului RIM 231

Scanned with OKEN Scanner

8.2. Ciment cu rezistențe finale mari (RFM) 233
8.3. Cimenturi albe și colorate 234
8.3.1. Ciment portland alb 234
8.3.2. Cimenturi portland colorate 237
8.4. Ciment portland pentru produse de azbociment 240
8.5. Ciment pentru baraje 241
8.6. Ciment portland pentru drumuri 243
8.7. Ciment de sondă 243

9. Cimentul aluminos 247
9.1. Chimia cimentului aluminos 247
9.1.1. Compoziția chimică și mineralogică a cimentului aluminos ... 247
9.1.2. Definirea modulară a cimentului aluminos 249
9.1.3. Procese fizico-chimice la obținerea cimentului aluminos ... 250
9.1.4. Întărirea cimentului aluminos 251
9.2. Fabricarea cimentului aluminos 252
9.2.1. Calculul amestecului de materii prime 252
9.2.2. Prepararea și arderea amestecului brut 253
9.2.3. Măcinarea cimentului aluminos 255
9.3. Proprietățile cimentului aluminos. Domenii de utilizare 255
9.3.1. Proprietățile cimentului aluminos 255
9.3.2. Domenii de utilizare a cimentului aluminos 260
9.4. Aplicații 260

10. Cimenturi cu adaosuri 263
10.1. Cimenturi cu conținut de zgură de furnal 263
10.1.1. Caracterizarea hidraulică a zgurilor de furnal. Definirea lianților pe bază de zguri 263
10.1.2. Tipuri de lianți cu zgură. Obținerea. Caracteristici 264
10.2. Lianți cu adaosuri hidraulice (puzzolane) 269
10.2.1. Lianți de var cu adaosuri hidraulice 269
10.2.2. Lianți pe bază de clincher și adaosuri hidraulice 270

11. Produse de azbociment 273
11.1. Definirea și clasificarea produselor de azbociment 273
11.2. Sistemul ciment—azbest—apă 274
11.3. Procese tehnologice la fabricarea produselor de azbociment ... 276
11.3.1. Prelucrarea azbestului 276
11.3.2. Prepararea amestecului de azbociment 279
11.3.3. Formarea produselor de azbociment 280
11.3.4. Recuperarea apei la formarea produselor de azbociment ... 292
11.3.5. Întărirea produselor de azbociment 293
11.3.6. Colorarea produselor de azbociment 295
11.3.7. Finisarea produselor de azbociment 297
11.4. Proprietățile produselor de azbociment. Utilizări 298
11.5. Transportul, depozitarea și expedierea produselor de azbociment 299
11.6. Controlul producției și calității produselor de azbociment 300
11.7. Tendințe moderne în fabricarea produselor de azbociment 303

12. Protecția muncii în industria lianților și azbocimentului 306
12.1. Probleme de protecția muncii la extragerea materiilor prime ... 306
12.2. Probleme de protecția muncii la operațiile de mărunțire 307
12.3. Probleme de protecția muncii la operațiile de uscare și ardere 309
12.4. Probleme de protecția muncii la fabricarea produselor de azbociment 310

Scanned with OKEN Scanner

INTRODUCERE

LIANȚI ANORGANICI : DEFINIRE, ISTORIC, CLASIFICARE

Lianții anorganici, în general, constituie sisteme disperse solid-lichid, ce interacționează formînd mase care, în anumite condiții se întăresc, transformîndu-se într-un solid rezistent. Dintre aceștia, o categorie importantă o constituie lianții aparținînd sistemelor apoase ; aceștia pot fi definiți ca reprezentînd materiale pulverulente, care, împreună cu apa, formează sisteme ce se întăresc, transformîndu-se în materiale solide, rezistente.

Folosirea lianților ca materiale de construcții datează din timpuri străvechi : egiptenii au folosit ipsosul la construirea piramidelor, iar puțin mai tîrziu, în Grecia antică, au fost folosite pentru prima dată mortarele de var. Atît ipsosul cît și varul se pot obține prin procedee relativ simple, ceea ce explică folosirea lor încă din acele timpuri.

În secolul I al erei noastre au început să se folosească drept lianți amestecuri de var sau ipsos și adaosuri hidraulice — tufuri vulcanice care, după numele localității Puzzuoli (Italia) unde ele se găsesc în cantitate mare, au fost denumite puzzolane. Asemenea lianți au fost utilizați la construirea Colosseumului din Roma. Primele materiale scrise, referitoare la acești lianți, datează tot din acea perioadă și aparțin arhitectului Vitruvius.

Folosirea unor asemenea amestecuri liante a căpătat ulterior o extindere mare, ajungîndu-se, în zonele lipsite de roci vulcanice, la înlocuirea acestora cu argilă calcinată și mărunțită. De aici apare mai tîrziu ideea arderii rocilor cu conținut de argilă (marne) pentru realizarea unor lianți, aceasta constituind începutul obținerii lianților hidraulici — în mod concret a cimentului. La început, prin arderea la temperaturi relativ joase a unor amestecuri de cretă, argilă și apă, Vicat și Frost au obținut așa-numitul „ciment roman". Obținerea cimentului portland este legată de numele lui Aspdin, care în anul 1824, în Anglia, patentează procedeul de fabricație a unui liant hidraulic prin arderea unui amestec umed de argilă și calcar ; întrucît arderea se făcea la temperaturi nu prea ridicate, liantul obținut

Scanned with OKEN Scanner

era inferior cimentului portland propriu-zis. În anul 1844, Johnson descoperă rolul pe care îl are topirea parțială a amestecului de calcar și argilă (la temperaturi ridicate) asupra calității cimentului. Produsul arderii a fost denumit „clincher de ciment portland" (denumirea de ciment portland are la origine asemănarea sa, după întărirea în amestec cu apa, cu roca naturală portlandit). În această perioadă se fac și unele aprecieri privind rolul pe care îl are adaosul de ghips asupra întăririi cimentului. Ca urmare a acestor descoperiri, industria cimentului cunoaște în perioada următoare un mare avînt.

În jurul anului 1900 începe utilizarea zgurilor de furnal ca adaos la măcinarea cimentului, fabricîndu-se „cimentul metalurgic" și „cimentul de furnal".

Se fundamentează, prin numeroase cercetări, probleme legate de compoziția chimică și mineralogică a cimentului, procesele de întărire a acestuia. Îndeosebi în secolul XX, chimia și tehnologia lianților se afirmă ca domeniu științific important, prin contribuția pe care o aduc lucrările unor savanți consacrați, cum au fost : Le Chatelier, Michaelis, Baicov, Kühl, Rebinder, Lea, Toropov, Kind, Jung ș.a.

În anul 1908 Bied obține cimentul aluminos în Franța.

Alături de contribuția savanților străini la progresul științei în domeniul tehnologiei lianților, trebuie menționat aportul unor savanți români cu renume mondial, cum ar fi : Șerban Solacolu — în problema echilibrelor termice, a modulării cimentului sau folosirii zgurilor de furnal înalt și Alexandru Steopoe — în problema cimenturilor cu adaosuri hidraulice și a rezistenței betoanelor la coroziune.

Cercetările numeroase întreprinse pe plan mondial, în domeniul tehnologiei lianților în general și a cimentului portland în particular, au determinat dezvoltarea intensă, pe baze noi, fundamentate științific, a industriilor corespunzătoare. Alături de producția de ciment, pe plan mondial și în țara noastră în ultima perioadă s-a dezvoltat în măsură importantă și producția altor lianți — var, ipsos, precum și cea de prefabricate și de azbociment. Datele din fig. 1.1 ilustrează evoluția producției de ciment și de prefabricate în România. S-au construit și dat în funcțiune linii moderne de ciment și var la Tg. Jiu, Medgidia, Fieni, Cîmpulung (jud. Argeș), Aleșd, Hoghiz, Deva, Tașca, echipate în bună parte cu utilaje fabricate în țară — mori, cuptoare de ciment, concasoare, poduri rulante, benzi transportoare. Țara noastră a ajuns să exporte azi, pe lîngă materiale liante (îndeosebi ciment) și linii tehnologice pentru fabricarea acestora.

Noțiunea de liant cuprinde o gamă variată de produse care se pot clasifica în mai multe categorii, luînd în considerație diferite cri-

Scanned with OKEN Scanner

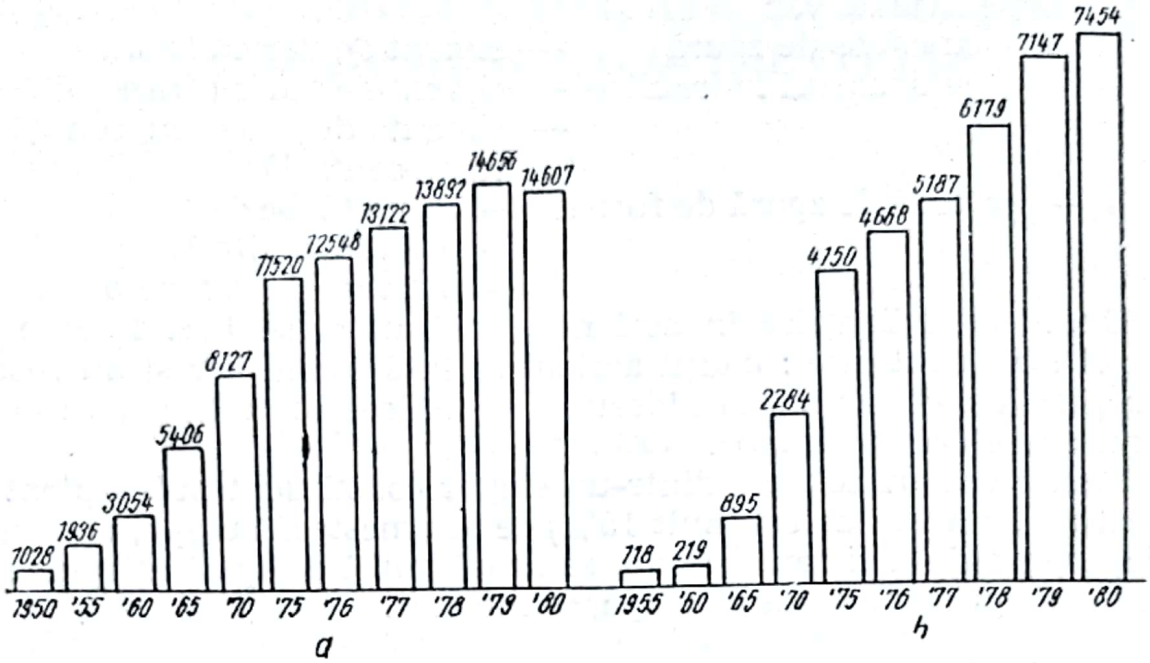


Fig. 1.1. Evoluția producției de ciment, în mii tone (*a*) și de elemente prefabricate în m^3 (*b*), în România, în perioada 1950—1980.

terii, cum ar fi : natura liantului, modul de obținere, modul de întărire. În schema următoare se prezintă o clasificare pe baza unor asemenea criterii :

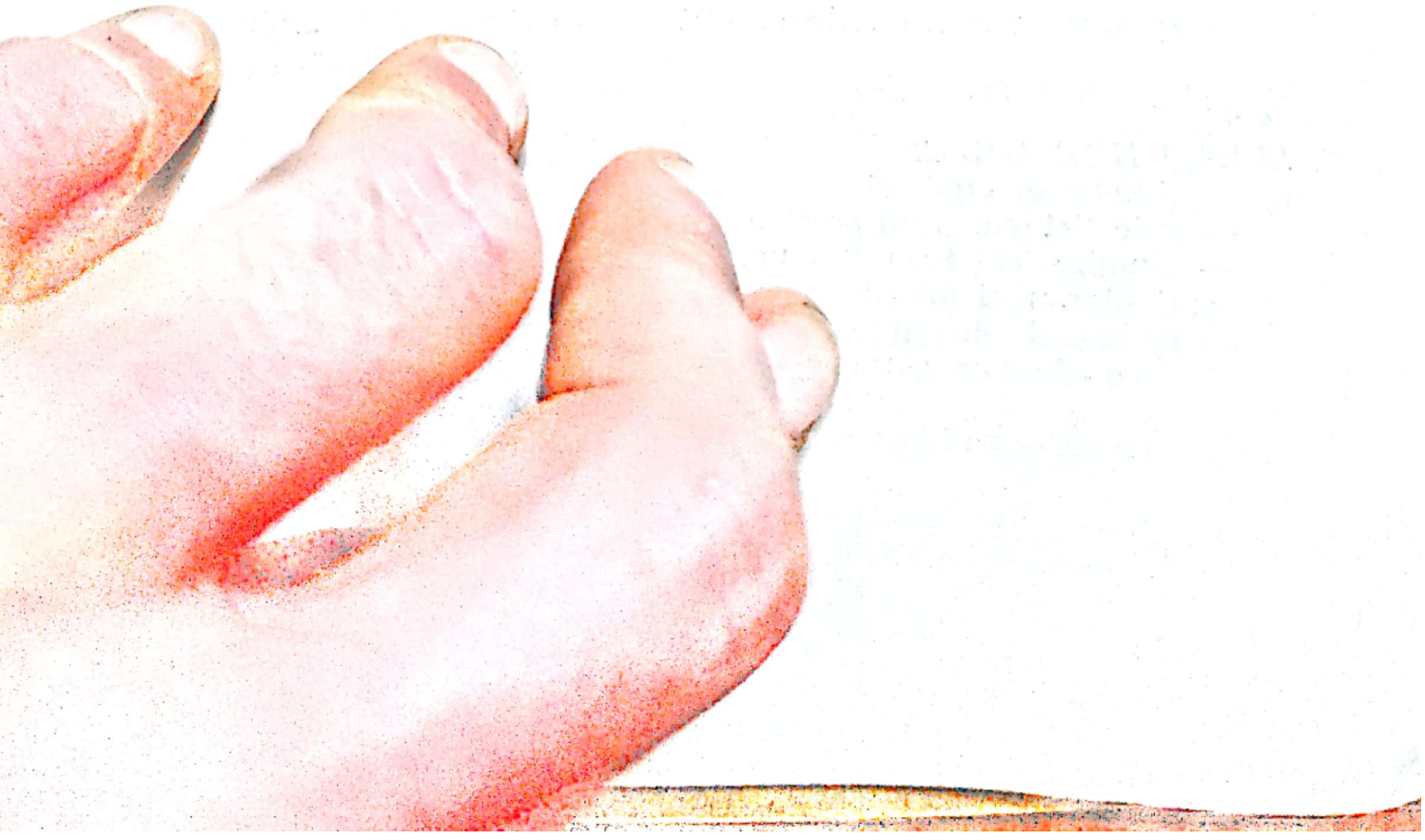
1. *LIANȚI AERIENI*
   a) pe bază de $CaSO_4$
      — ipsosuri cu conținut de semihidrat — de construcții
      — de modelaj
      — sanitar
      — ipsosuri cu conținut de anhidrit — cimentul de anhidrit
      — ipsosul de pardoseală
   b) pe bază de CaO — varul
2. *LIANȚI HIDRAULICI*
   a) lianți hidraulici unitari
      — silicatici (cimentul portland)
      — aluminatici (cimentul aluminos)
   b) lianți hidraulici micști
      — pe bază de ciment portland
         cu adaos de zgură — ciment metalurgic
         — ciment de furnal
         cu adaosuri hidraulice — ciment cu trass
         — ciment cu cenușă de termocentrală
         — ciment cu diatomit

Scanned with OKEN Scanner

— pe bază de var
  cu adaos de zgură — ciment de var cu zgură
  cu adaosuri hidraulice — ciment de var cu trass
  — ciment de var cu cenușă de termocentrală
— pe bază de zgură de furnal — activată bazic
  — activată sulfatic
  — activată în alt mod

Clasificarea lianților în aerieni și hidraulici se face funcție de modul lor de întărire : lianții aerieni se întăresc în aer și nu rezistă la acțiunea apei, iar lianții hidraulici se întăresc bine în mediu umed și nu sînt distruși de apă.

Lianții unitari constau dintr-un singur constituent pulverulent (și eventual un adaos de cel mult 15%) ce se amestecă cu apa, iar lianții micști reprezintă sisteme de doi sau mai mulți componenți pulverulenți care, prin amestecare cu apa, se întăresc.



Scanned with OKEN Scanner

1. MATERII PRIME UTILIZATE LA FABRICAREA LIANȚILOR ȘI AZBOCIMENTULUI

1.1. CLASIFICAREA MATERIILOR PRIME

Pentru obținerea lianților aerieni și hidraulici se folosește o gamă variată de materii prime care se pot sistematiza luînd în considerație natura lor și rolul pe care îl au în procesul tehnologic. Baza de materii prime o constituie, în cea mai mare parte, rocile naturale — calcare, marne, argile, gips ; cu o pondere mai mică intervin unele deșeuri industriale cum sînt zgura granulată de furnal, cenușile de termocentrală, nămolul nefelinic, cenușa de pirită.

Se consideră *materii prime principale* cele care intervin cu o pondere mare în procesul tehnologic de obținere a lianților, în timp ce *materiile prime auxiliare* se folosesc doar în cantități mici, în scopul corectării compoziției amestecului brut, al obținerii unor lianți cu anumite proprietăți. Schema următoare prezintă clasificarea materiilor prime :

a) **Materii prime principale**
- roci calcaroase
- roci argiloase
- marne
- bauxite
- ghips
- zgură de furnal
- azbest

b) **Materii prime auxiliare** (adaosuri)
- de corecție — silicioase (diatomit)
  - aluminoase (bauxită)
  - feruginoase (cenușă de pirită)
- mineralizatori (fluoruri, sulfați, oxizi etc.)
- fluidificatori (Na_2CO_3, Na_3PO_4, Na_2SiO_3, Na_2SiF_6 etc.)
- hidraulic active — naturale (de origine minerală sau organică)
  - artificiale (cenușă de termocentrală)
- regulatori de întărire (cu acțiune accelerătoare sau întîrzietoare)
- activatori (var, clincher, $CaCl_2$, $CaSO_4$, sticlă solubilă).

Scanned with OKEN Scanner

1.2. DESCRIEREA MATERIILOR PRIME

1.2.1. MATERII PRIME PRINCIPALE

Rocile calcaroase sînt roci naturale avînd un conținut minim de 70% $CaCO_3$, alături de care apar cantități variabile de impurități cum sînt : argile, dolomită, cuarț, feldspați. În funcție de gradul de compactitate, calcarele pot fi : marmură, calcar compact obișnuit, cretă, tufuri calcaroase.

Calcarul constituie materia primă principală la obținerea cimenturilor portland și aluminos și a varului. În funcție de destinația dată, calcarul trebuie să corespundă anumitor cerințe de puritate și cristalinitate. Astfel, atît pentru obținerea cimentului cît și a varului, nu este avantajoasă folosirea unor calcare bine cristalizate, deoarece acestea sînt mai stabile din punct de vedere chimic și necesită, pentru descompunere, un consum mai mare de căldură. Calcarul destinat fabricării cimentului trebuie să conțină cel puțin 80% $CaCO_3$, iar conținutul în MgO, alcalii și cuarț (prezente ca impurități) trebuie limitat la valori cît mai mici, datorită influenței negative pe care acestea o pot avea fie asupra procesului de ardere, fie asupra calității cimentului. Pentru fabricarea varului aerian, calcarul folosit trebuie să aibe o mare puritate, conținutul maxim admis de impurități este de 12%. Se poate folosi în acest scop calcarul compact cu 88—94% $CaCO_3$.

În funcție de natura și ponderea impurităților, calcarele se prezintă colorate de la alb la cenușiu închis, cu densitatea variind între 2,4 și 2,8 g/cm^3 și rezistența la compresiune de 50—1 500 daN/cm^2. Calcarele compacte au umidități mici (sub 5%) și, ca urmare nu îngheață ; această proprietate este însă influențată de conținutul de impurități argiloase.

Rocile argiloase reprezintă cea de a doua materie primă pentru fabricarea cimentului. Ele constituie roci sedimentare avînd ca principali componenți chimici hidroaluminosilicați de compoziția generală $Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot mH_2O + nH_2O$. În funcție de natura hidroaluminosilicatului conținut, argilele pot fi :

— caolinitice, cu conținut predominant de caolinit ($Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$) ;

— montmorillonitice, cu conținut predominant de montmorillonit ($Al_2O_3 \cdot 4\,SiO_2 \cdot H_2O + nH_2O$) ;

— haloizitice, conțin în principal haloizit ($Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O + 2\,H_2O$) ;

— ilitice, cu conținut predominant de ilit ($Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot H_2O + nH_2O$).

Scanned with OKEN Scanner

Argilele utilizate în industria lianților sînt argile comune, conținînd amestecuri ale mineralelor indicate anterior și cantități variabile de impurități sub formă de calcar, gips, cuarț, mică, feldspați, substanțe organice. În funcție de ponderea pe care o are calcarul sau argila, rocile argilo-calcaroase se definesc ca în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Roca	Conținutul de $CaCo_3$ (%)	Conținutul de argilă (%)
Calcar	95—100	5—0
Calcar marnos	90—95	10—5
Marnă calcaroasă	70—90	30—10
Marnă	40—70	60—30
Marnă argiloasă	20—40	80—60
Argilă marnoasă	5—20	95—80
Argilă	0—5	100—95

Preponderența în argile a unuia sau altuia din hidroaluminosilicați influențează proprietățile tehnologice ale acestora. De exemplu în cazul argilelor montmorillonitice, necesarul de apă pentru obținerea pastelor de amestec brut pompabile este mai mare.

Conținutul de $CaCO_3$ nu limitează folosirea rocilor argiloase la fabricarea cimentului ; este indicat ca acesta să fie chiar mai ridicat, deoarece se realizează astfel un amestec mai intim al său cu oxizii acizi, ceea ce ușurează desfășurarea reacțiilor dintre aceștia și oxidul de calciu, în procesul de ardere.

Conținutul de MgO se limitează în funcție de cantitatea adusă și de calcar, astfel încît în amestecul brut el să nu depășească 4%.

Conținutul de cuarț este limitat, de asemenea, de cel din calcar, așa încît în amestecul brut el să nu depășească 5%.

Alcaliile (Na_2O și K_2O) trebuie să fie în cantitate redusă, astfel ca în amestecul brut ele să nu depășească 1,5—2,0% ; peste această limită, alcaliile au efect defavorabil asupra formării silicatului tricalcic și în plus pot perturba procesul tehnologic de ardere.

În categoria rocilor argiloase se încadrează și *loessul,* care este o rocă de eroziune ce conține cantități mai mici de aluminosilicați hidratați decît argilele obișnuite și cantități mai mari de calcar, cuarț, mică și feldspat.

Bauxitele constituie materia primă principală pentru fabricarea cimentului aluminos. Din punct de vedere chimic ele constau din alumină hidratată, impurificată cu Fe_2O_3 și SiO_2. Bauxitele de calitate bună conțin peste 55% Al_2O_3, cel mult 5% SiO_2 și sub 20% Fe_2O_3. Zăcămintele de bauxită din țara noastră se caracterizează printr-un conținut ridicat de Fe_2O_3 (20—25%), ceea ce limitează utilizarea lor pentru obținerea cimentului aluminos.

Scanned with OKEN Scanner

Ghipsul reprezintă materia primă principală pentru obținerea lianților de ipsos și în același timp, o materie auxiliară la obținerea cimentului. El se găsește în natură ca rocă compactă, bine cristalizată, constînd din sulfat de calciu cristalizat cu două molecule de apă — $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$, impurificat adesea cu substanțe argiloase, carbonați de calciu și de magneziu etc. Varietatea cea mai pură de ghips este cunoscută sub numele de alabastru. În funcție de conținutul de impurități, ghipsul se prezintă colorat diferit, de la alb la cenușiu închis.

Pentru a fi folosit cu bune rezultate la fabricarea ipsosului, ghipsul trebuie să aibă un conținut de sulfat de calciu — $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$ de 83—96%, iar pentru utilizarea ca adaos la obținerea cimentului, conținutul de sulfat de calciu cristalizat trebuie să fie de cel puțin 70% (STAS 123-75).

În afară de ghips, se mai poate folosi pentru obținerea lianților de ipsos (sau ca adaos mineralizator) și *fosfoghipsul*. Acesta reprezintă un deșeu al industriei chimice anorganice și conține în principal, $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$, alături de care apar cantități variabile de fosfați și compuși cu fluor. Aceste impurități limitează uneori folosirea fosfoghipsului în industria lianților. Pentru exemplificare, în tabelul 1.2 se prezintă compoziția chimică și granulometrică a fosfoghipsului rezultat la Combinatele chimice din Turnu Măgurele și Valea Călugărească.

Zgurile metalurgice constituie produse secundare ale industriei metalurgice, rezultate în procesul de extragere a metalelor din minereuri, care pot fi utilizate pentru obținerea lianților cu zguri.

Dintre zgurile metalurgice, în industria lianților se utilizează, în mod deosebit, zgurile de furnal înalt, rezultate în procesul de extragere a fierului din minereuri.

Zgurile de furnal înalt se caracterizează printr-o compoziție chimică complexă, conținînd pe lîngă oxizii principali — CaO, MgO, Al_2O_3, SiO_2 — și cantități reduse de MnO, TiO_2, P_2O_5. Dată fiind această compoziție, zgurile de furnal înalt se încadrează în sistemul cuaternar CaO—MgO—SiO_2—Al_2O_3, în zone delimitate de considerente privind relațiile compoziție chimică-proprietăți.

Pentru a nu afecta desfășurarea proceselor metalurgice, topiturile de zgură trebuie să aibă o anumită fluiditate, ceea ce impune limitarea conținutului lor de Al_2O_3 la cel mult 25% și de CaO la cel mult 47% ; de asemenea, se impune limitarea conținutului de MgO, în funcție de raportul CaO/SiO_2 al zgurilor : pentru $CaO/SiO_2 < 1{,}1$ conținutul în MgO poate ajunge la 25%, în timp ce pentru rapoarte $CaO/SiO_2 > 1{,}1$ el nu trebuie să depășească cîteva procente.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 1.2

Caracteristici	Caracteristici ale fosfoghipsului	
	Valea Călugărească	Turnu Măgurele
Umiditate	33—37 %	33—37 %
Apa de cristalizare	14—16 %	15—19 %
SiO_2	0,2—0,6 %	0,2—0,7 %
Al_2O_3	0,4—0,6 %	0,2—0,8 %
Fe_2O_3	0,1—0,2 %	0,1—0,3 %
MgO	0,1—0,4 %	0,1—1,0 %
P_2O_5	0,7—1,2 %	0,8—1,2 %
Na_2O	0,2—0,4 %	0,1—0,2 %
F	0,1—0,2 %	0,03—0,2 %
CaO	32—34 %	21—38 %
SO_3	44—46	45—54 %
Granulometrie : > 60 μm	4—6 %	3—8 %
50—60 μm	3—4 %	1—7 %
40—50 μm	9—14 %	1—14 %
30—40 μm	12—15 %	7—15 %
20—30 μm	24—25 %	20—39 %
10—20 μm	24—29 %	20—38 %
<10 μm	14—19 %	8—24 %
Suprafața specifică BET	6 000—8 000 $\frac{cm^2}{g}$	—
Suprafața specifică Blaine	3 100—3 800 $\frac{cm^2}{g}$	3 700—5 200 $\frac{cm^2}{g}$

Pentru a putea fi utilizate cu bune rezultate la obținerea lianților, zgurile de furnal înalt nu trebuie să conțină MgO sub formă de periclaz.

Compoziția chimică și condițiile de tratament termic (topire, răcire) condiționează o anumită compoziție mineralogică și de fază a zgurilor de furnal înalt. Prin răcirea lentă a topiturilor de zguri se obțin mase dure, casante, cristalizate — atunci cînd zgurile sînt bazice, sau mase cu un conținut relativ mare de fază vitroasă, atunci cînd ele au compoziții mai acide. Răcirea rapidă a topiturilor conduce la obținerea de mase granulate sau expandate, avînd un conținut ridicat de fază vitroasă și doar cantități mici de faze cristaline, a căror natură este condiționată de compoziția oxidică a zgurilor. Zgurile bazice conțin ca faze cristaline importante : $2\,CaO \cdot SiO_2$ $3\,CaO \cdot 2\,SiO_2$ (ranchinit), $CaO \cdot MgO \cdot SiO_2$ (monticelit), $3\,CaO \cdot MgO \cdot 2\,SiO_2$ (mervinit), $2\,CaO \cdot MgO \cdot 2\,SiO_2$ (akermanit), $2\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (gehlenit). În zgurile acide apar îndeosebi, $CaO \cdot SiO_2$ (wolastonit), $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2$ (anortit). O categorie importantă de compuși mineralogici o constituie melilitele — soluții solide între $2\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (gehlenit) și $2\,CaO \cdot MgO \cdot 2\,SiO_2$ (akermanit), care pot apare în aproape toate zgurile de furnal înalt.

Scanned with OKEN Scanner

Zgurile de furnal înalt granulate și expandate sînt cele care se folosesc cu precădere în industria lianților.

Azbestul, materie primă principală pentru obținerea produselor de azbociment, este un mineral alcătuit din fibre flexibile, rezistente, care pot fi desfăcute ușor prin procedee mecanice. Din punct de vedere chimic, azbestul constă din hidrosilicați complecși, conținînd MgO, FeO, Fe_2O_3, Al_2O_3, Na_2O, CaO.

Se deosebesc două mari clase mineralogice de azbest :

a) azbesturi serpentinice, conținînd în principal crisotil ;

b) azbesturi amfibolice, conținînd antofilit (hidrosilicat de magneziu), crochidolit (hidrosilicat de fier și sodiu), amozit (hidroaluminosilicat de fier și magneziu), tremolit (hidrosilicați de calciu și magneziu).

Pentru producția de azbociment se utilizează în principal azbestul crizotil, atît datorită răspîndirii sale mari în natură (aproximativ 95% din producția mondială de azbest reprezintă azbest crisotil), cît și datorită unor proprietăți superioare față de celelalte tipuri de azbest (flexibilitate, elasticitate și rezistențe mecanice mai bune). În funcție de orientarea fibrelor, azbestul crisotil prezintă trei varietăți :

α-crisotil, cu fibre transversale ;

β-crisotil, cu fibre longitudinale ;

γ-crisotil, cu fibre încrucișate.

Din punct de vedere calitativ, β-crisotilul este varietatea cu cele mai bune proprietăți.

Compozițional, azbestul crisotil este un hidrosilicat de magneziu — $Mg_6[Si_4O_4(OH)_6]H_2O$, impurificat cu cantități variabile de oxizi de fier, de calciu, de aluminiu, astfel încît compoziția sa reală variază în limitele indicate în tabelul 1.3.

Rezistența la întindere a fibrelor de azbest este deosebit de mare (160—300 DaN/mm^2), iar modulul de elasticitate ridicat (1,6—2,1 · $\cdot 10^6$ daN/cm^2) face ca ele să se comporte elastic pentru solicitări foarte apropiate de limita de rupere. Azbestul crisotil are o comportare satisfăcătoare în condiții de temperaturi mai ridicate, astfel încît prin încălzire pînă la aproximativ 400 °C, scăderile de rezistență mecanică nu depășesc 20%.

Tabelul 1.3

Constituenți,	%	Constituenți	%	Constituenți	%
SiO_2	40—42,5	Al_2O_3	0,5—2	H_2O de constituție	12,6—14
MgO	36—41,0	CaO	0—0,5		
Fe_2O_3	1—5	MnO	0—0,1	H_2O higroscopică	1—2
FeO	0,4—2	ROH	0—2,0		

Scanned with OKEN Scanner

Datorită capacității mari a azbestului de a absorbi apa sau soluții alcaline, la amestecarea sa cu cimentul în prezența unei cantități mari de apă, granulele fine de ciment aderă la fibrele de azbest, care se dispersează rapid în pasta de ciment.

1.2.2. MATERII PRIME AUXILIARE

Adaosurile de corecție reprezintă materiale folosite la fabricarea clincherului de ciment portland, ca adaosuri la amestecul brut de materii prime principale, în scopul corectării conținutului acestuia în unul din oxizii : Fe_2O_3, SiO_2, Al_2O_3. În funcție de oxidul ce trebuie corectat se pot folosi : cenușă de pirită pentru creșterea conținutului de Fe_2O_3, diatomit — pentru SiO_2 și bauxită — pentru Al_2O_3.

Mineralizatorii sînt substanțe care, introduse în cantități mici în amestecul brut pentru obținerea clincherului, facilitează procesele de ardere, îmbunătățind uneori și calitatea clincherului obținut. Se pot folosi în acest scop compuși cu fluor, sulfați, oxizi de fier, mangan, titan sau zguri conținînd asemenea oxizi.

Fluidificatorii sînt substanțe care, adăugate în cantități foarte mici în amestecul brut destinat fabricării cimentului prin procedeul umed, micșorează viscozitatea pastei, permițînd reducerea cantității de apă din pastă și, prin aceasta, o anumită reducere a consumului de combustibil necesar arderii.

Adaosurile hidraulic active sînt materiale care se pot adăuga la măcinarea clincherului pentru obținerea cimenturilor puzzolanice, sau se folosesc la obținerea unor lianți micști pe bază de ipsos sau var. Din punct de vedere chimic, ele se caracterizează printr-un conținut ridicat de SiO_2 și Al_2O_3, alături de care mai conțin CaO, Fe_2O_3, MgO, alcalii, SO_3.

Caracteristic pentru aceste materiale este faptul că, deși în stare pură nu reacționează cu apa, ele prezintă capacitatea de a reacționa cu hidroxidul de calciu, formînd compuși care se întăresc, dobîndind rezistențe mecanice.

După natura lor, adaosurile hidraulice pot fi naturale (de origine minerală sau organică) sau artificiale (cenuși volante de termocentrale).

Adaosurile hidraulice naturale de origine minerală cuprind silice hidratată, argile coloidale și roci vulcanice. Ultimele sînt cele mai răspîndite ; ele se prezintă ca materiale stratificate friabile (tufuri) sau dure și compacte (trassuri). La noi sînt cunoscute trassurile de Slănic-Prahova și Dej. Compoziția chimică a acestor trassuri variază în limite foarte largi în funcție de proveniența lor : 35—80% SiO_2, 8—22% Al_2O_3, 1—15% Fe_2O_3, 2—24% CaO, 0,2—4% MgO, 1—11%

Scanned with OKEN Scanner

alcalii. După conținutul în SiO_2, puzzolanele vulcanice pot fi : acide — cu peste 60% SiO_2, bazice — cu 40—50% SiO_2 sau intermediare — cu 50—60% SiO_2.

Adaosurile hidraulice naturale de origine organică (diatomite) reprezintă roci sedimentare provenite din depunerea scheletelor microorganismelor diatomee. Formează zăcăminte impurificate adesea cu nisip, argilă, substanțe organice ; în funcție de natura și ponderea impurităților, diatomitul este alb sau colorat mai intens.

Diatomitul este o rocă foarte silicioasă — conținutul de SiO_2 variază între 60% și 98%, constituită în principal din opal, alături de cantități mici de β-cristobalit. Prezența impurităților argiloase și organice diminuează reactivitatea diatomitului ; aceasta se poate îmbunătăți însă prin calcinarea lui la temperaturi joase (pînă la 700 °C), ca rezultat al arderii impurităților organice și a deshidratării argilei.

Tabelul 1.4

Componenții chimici %	Cenuși românești provenite de la termocentrala		
	Işalnița	Mintia	Doicești
SiO_2	50,66	52,07	53,21
CaO	15,03	4,39	7,88
Al_2O_3	20,53	26,39	20,39
Fe_2O_3	8,29	9,46	9,30
MgO	3,20	2,33	2,79
SO_3	2,33	0,46	1,22
R_2O	—	3,2	3,08
Pierderi la calcinare	2—2,5	0,59	1,10

Cenușile de termocentrală reprezintă pulberi fine rezultate la arderea cărbunilor pulverizați în instalațiile de ardere din termocentrale. Ele se caracterizează printr-o suprafață specifică ce variază, în funcție de locul de captare, între 2 000 și 5 000 m^2/g. În tabelul 1.4 se prezintă comparativ, compoziția unor cenuși provenite de la diferite termocentrale.

Adaosuri regulatoare ale procesului de întărire sînt substanțe care, introduse în cantități mici în amestecul liant-apă, pot să accelereze sau să întîrzie interacțiile fizico-chimice ale acestora. Întrucît problema reglării procesului de întărire prezintă interes îndeosebi pentru cimentul portland, menționăm ca substanțe acceleratoare pentru acest proces : $CaCl_2$, $AlCl_3$, $FeCl_3$, clorurile alcaline, $Ca(NO_3)_2$ etc., iar ca substanțe ce pot întîrzia interacțiunea cu apa a cimentului : ghips, ipsos, silicat de sodiu, unele substanțe organice.

Substanțele activatoare reprezintă o categorie deosebită de adaosuri, destinate obținerii lianților pe bază de zgură și au rolul de a activa procesele de interacțiune zgură-apă, făcînd posibile întărirea și dezvoltarea de rezistențe mecanice. Un astfel de rol pot avea : varul, clincherul de ciment portland (prin hidroxidul de calciu pe care îl eliberează în contact cu apa), ipsosul, sticla solubilă, clorura de calciu.

Scanned with OKEN Scanner

2. EXPLOATAREA ȘI TRANSPORTUL MATERIILOR PRIME

2.1. EXPLOATAREA MATERIILOR PRIME

Lucrările de extragere a materiilor prime se pot executa direct la suprafața solului, în exploatare la zi, sau în adîncime, în exploatare subterană. Problema alegerii între exploatarea la zi sau exploatarea subterană implică în prealabil un studiu tehnico-economic comparativ.

În toate cazurile este necesară cunoașterea hărții chimice a zăcămîntului, care să stabilească întinderea sa, compoziția chimică precum și raportul dintre grosimea stratului de steril și a materiilor prime valoroase. Întrucît în majoritate, zăcămintele de materii prime pentru industria lianților se află la adîncime mică, acoperite cu un strat subțire de material steril, cel mai adesea se alege metoda exploatării la zi.

Exploatarea la zi prezintă față de exploatarea în subteran o serie de avantaje, cum ar fi :

— productivitate mai mare, ca urmare a folosirii unor utilaje de capacitate ridicată ;
— cheltuieli mai scăzute ;
— securitatea muncii mai mare ;
— posibilitatea mecanizării complexe a lucrărilor.

O exploatare la zi, al cărui perimetru se numește *carieră*, este prevăzută cu toate utilajele necesare extragerii și încărcării materiilor prime.

Principalele operații ale exploatării carierelor sînt :

— pregătirea suprafeței zăcămîntului, prin înlăturarea obstacolelor, construirea drumurilor de acces, alimentarea cu energie electrică, apă și aer comprimat ;
— dezvelirea zăcămîntului (descopertarea) ;
— derocarea rocii utile (abatajul) ;
— încărcarea și transportul rocii utile.

Scanned with OKEN Scanner

2.1.1. DESCOPERTAREA

Prin descopertare se înțelege operația de înlăturare a stratului de steril (copertă) care acoperă de obicei zăcămintele. În funcție de natura rocilor, de duritatea acestora, descopertarea se poate realiza cu mijloace mecanice (buldozere, excavatoare, screpere) sau hidromecanice (hidromonitoare). Hidromecanizarea este aplicabilă pentru cazurile în care coperta este formată din roci argiloase sau nisipoase ; ea constă în detașarea sterilului de zăcământ cu ajutorul unui jet de apă sub presiune, cu o viteză de 20—90 m/s. Această metodă este neeconomică pentru producții mici și presupune existența unei surse de apă și de energie electrică.

2.1.2. DEROCAREA ROCII UTILE (ABATAJUL)

În funcție de omogenitatea compoziției chimice și de caracteristicile petrografice și geologice ale zăcământului, procedeele de abataj pot fi :

— cu mijloace mecanice — fără explozivi, sau hidromecanice, în cazul rocilor moi și foarte moi (argile, marne argiloase, roci dezagregate etc.), folosindu-se excavatoarele sau hidromonitorul ;

— cu ajutorul explozivilor în cazul rocilor semitari și tari (calcare, marne etc.).

Caracteristicile principale ale explozivilor folosiți de obicei în exploatările la zi sînt date în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

Denumirea explozivului	Densitatea maximă kg/m³	Temperatura de explozie °K	Viteza de detonație m/s	Căldura de explozie kj/kg	Volumul gazelor de explozie m³/kg	Capacitatea de lucru în cilindru de plumb normal cm³	Compoziția
1	2	3	4	5	6	7	8
Dinamita I	1 530	3 720	6 000	5 440	0,660	400	65 % Nitroglicerină
Dinamita II	1 500	3 390	6 150	4 750	0,860	400	30 % Nitroglicerină + 7 % Trinitrotoluen
Dinamita III	1 500	3 190	6 100	4 260	0,860	375	34 % Nitroglicerină +59 % Azotat de amoniu
Trotil	1 580	3 270	5500—6800	4 220		285	Obținut prin nitrarea toluenului în prezența sulfului

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8
Astralită	1 100	2 950	4 800	3 940	0,870	350	80 % Azotat de amoniu + 12 % Trintrotoluen + 4 % Nitroglicerină
Azotat de amoniu + motorină			1500—3000			165...250	94,4 % Azotat de amoniu + 5,6 % Motorină
Pulbere neagră	1 200	2 650	400	2 860	0,280	nemăsurabil	75 % Azotat de potasiu + 10 % sulf + 15 % cărbune
Fulminat de mercur	3 500	4 620	6 500	1 490	0,316	110	$Hg\begin{matrix}ONC\\ONC\end{matrix}$
Termit	3 270... ...3 470						Amestec echivolumetric de pulbere de aluminiu și pulbere de oxid de fier

Inițierea deflagrației explozivilor necesită acțiunea de șoc a unei unde detonante. În acest scop se folosesc *amorsele pirotehnice* (capsele) sau *amorsele electrice* (fig. 2.1).

Procedeele de abataj cu exploziv folosite cel mai frecvent sînt următoarele :

— pușcarea în găuri de mină ;
— pușcarea în găuri de sondă ;
— pușcarea în camere de minare.

Găurile de mină au diametrul pînă la 75 mm și lungimea pînă la 8—10 m ; se practică în cazul unor înălțimi mici ale treptei de lucru. Ele se perforează mecanic cu perforatoare pneumatice. În fig. 2.2 se dau unele caracteristici ale exploatării cu găuri de mină.

Parametrii care influențează eficacitatea operațiilor de pușcare sînt :

— mărimea și calitatea încărcături explozive ;
— diametrul și lungimea găurilor de mină ;
— distanțele între găurile de mină și marginea frontului de lucru, între găurile de mină așezate pe un rînd, precum și distanța între rîndurile de găuri, dacă ele sînt așezate pe mai multe rînduri.

Datorită efectului combinat a numeroși factori care influențează rezultatul exploziei, este greu să se prevadă prin calcul efectul unei pușcări. Totuși, pentru evaluarea cantității de exploziv necesară, se poate utiliza formula simplificată a lui Hauser :

$$Q = xa^3 \text{ (kg)},$$

Scanned with OKEN Scanner

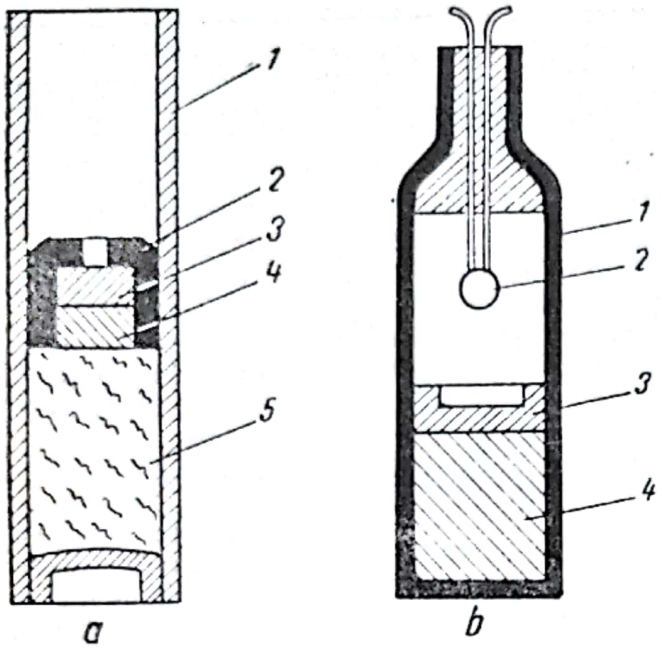


Fig. 2.1. Amorse de inițiere :
a — amorsă pirotehnică: *1* — tub metalic; *2* — căpăcel cu orificiu; *3, 4* — substanțe primare de inițiere; *5* — substanță secundară de inițiere; *b* — amorsă electrică instantanee: *1* — tub metalic; *2* — element electric de aprindere; *3* — substanță termosensibilă; *4* — substanță de inițiere.

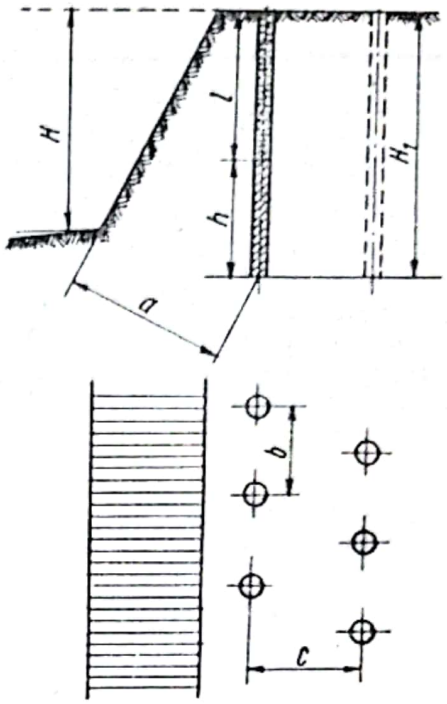


Fig. 2.2. Parametri pentru executarea găurilor de mină :
H — înălțimea treptei; H_1 — adîncimea găurii de mină; *a* — anticipantă liniară; *b, c* — distanța între găurile de mină; *h* — înălțimea încărcăturii; *l* — înălțimea barajului.

unde : *Q* este masa încărcăturii de exploziv, *x* — coeficientul de tărie a rocii, prezentat în tabelul 2.2, *a* — anticipanta liniară.

În cazul în care se utilizează dinamită, valorile lui *x* se înmulțesc cu 0,8, iar pentru pulberea neagră — cu 1,5—2,5.

Găurile de sondă au diametrul cuprins între 90 și 300 mm și înălțimea treptei de lucru 10—60 m (uneori pînă la 100 m). Găurile de sondă au adîncimi ceva mai mari (cu 0,6—2 m) decît înălțimea treptei și pot fi forate perpendicular sau înclinat (fig. 2.3).

Găurile de sondă se amplasează pe unul sau mai multe rînduri. Distanțele dintre găuri se stabilesc în funcție de proprietățile rocii, diametrul găurii, de înălțimea treptei și anticipantă. Pentru o mai bună fărîmițare a rocii, încărcătura de exploziv se repartizează (dispersează) pe înălțimea găurii de sondă (fig. 2.3, *a*).

O metodă modernă de creșterea eficacității pușcării o constituie detonarea cu microîntîrziere (25—30 ms) a încărcăturilor de exploziv învecinate (fig. 2.4). Fiecare detonație aduce roca într-o stare de puternică vibrație, astfel că efectul detonației următoare va fi mult mai intens, determinînd o mai bună mărunțire a materialului.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.2

Roca	x kg/m³
Cretă	0,057
Argilă	0,066
Calcar, gresie	0,074
Granit, gneiss	0,088

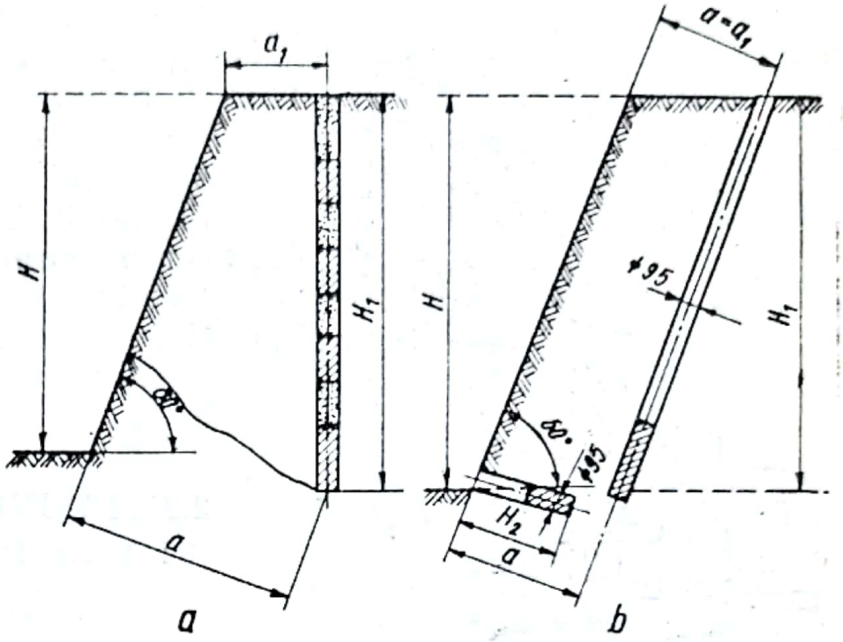


Fig. 2.3. Găuri de sondă : *a* — gaură verticală; *b* — gaură înclinată; *H* — înălțimea treptei; H_1 — adîncimea de forare; H_2 — adîncimea găurii de talpă; *a* — anticipantă; a_1 — distanța dintre gaură și marginea frontului de abataj.

Camerele de minare sînt cavități lărgite la capetele unor galerii de coastă sau puțuri de secțiune mică (1,2×1,6 m), în care se amplasează explozivul (fig. 2.5). Procedeul se aplică cînd se folosesc trepte înalte și cînd volumul mare de material derocat compensează cheltuielile pentru lucrările miniere pregătitoare sau cînd folosirea procedeului cu găuri de sondă nu este posibilă. Dezavantajul acestui procedeu constă în procentul relativ mare de bucăți *negabaritice*, care necesită o sfărîmare secundară.

Sfărîmarea secundară se poate realiza fie prin forarea în blocurile mari a unor găuri de mină și detonarea lor sau cu ajutorul unui

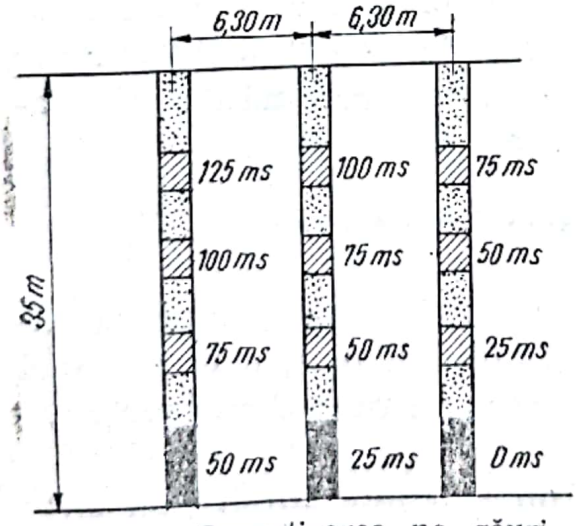


Fig. 2.4. Repartizarea pe găuri a încărcăturilor de exploziv.

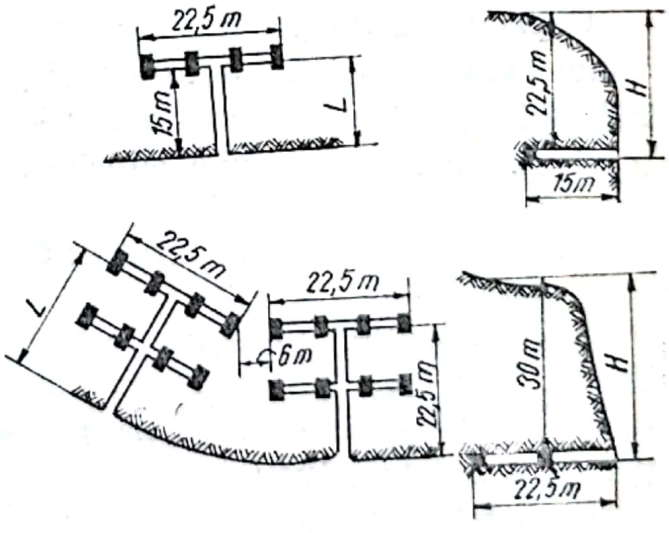


Fig. 2.5. Schema amplasării camerelor de minare la diferite înălțimi ale treptei : *H* — înălțimea treptei; *L* — lungimea galeriei.

Scanned with OKEN Scanner

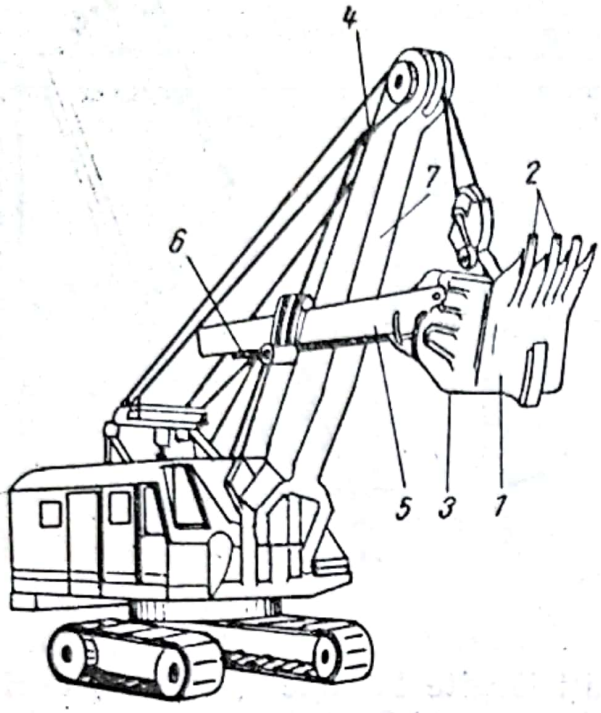


Fig. 2.6. Excavator cu lingură dreaptă :
1 — cupă; *2* — dinți; *3* — fund mobil; *4* — cablu; *5* — mînerul cupei; *6* — cremalieră; *7* — braț.

berbec de 5 000—6 000 kg, acționat de un excavator universal. Experimental s-a realizat sfărîmarea secundară cu ajutorul curentului de înaltă frecvență : doi electrozi plasați în bloc provoacă, prin trecerea curentului electric, o dilatare locală și tensiuni mecanice suficient de mari pentru spargerea acestuia.

2.2. MAȘINI PENTRU EXTRAGEREA ȘI ÎNCĂRCAREA MATERIILOR PRIME

2.2.1. EXCAVATOARE CU O CUPĂ

Excavatoarele cu o cupă sînt utilaje cu funcționare ciclică, discontinuă. După modul de legare a cupei de brațul excavatorului se deosebesc excavatoare cu legătură rigidă între cupă și braț (lopata mecanică) și excavatoare cu legătură flexibilă între cupă și braț (draglină și excavatorul cu greifer). În fig. 2.6 este prezentat un excavator cu cupă dreaptă.

Capacitatea de producție a excavatoarelor este caracterizată de dimensiunea cupei. Volumul cupei poate varia între 0,25 și 98 m^3 ; în industria lianților din țara noastră se utilizează cel mai des excavatoare cu capacitatea cupei cuprinsă între 0,25 și 4 m^3.

2.2.2 EXCAVATOARE CU MAI MULTE CUPE

Excavatoarele cu mai multe cupe, cu funcționare continuă, se utilizează mai ales la extragerea directă, din zăcămînt, a rocilor moi (argile, cretă, cărbuni etc.). La aceste excavatoare se deosebesc două principii constructive :

a) cupele tăietoare sînt legate pe un lanț fără sfîrșit (fig. 2.7) ;

b) cupele tăietoare sînt plasate la periferia unui disc rotativ — excavator cu roată cu cupe (fig. 2.8).

Scanned with OKEN Scanner

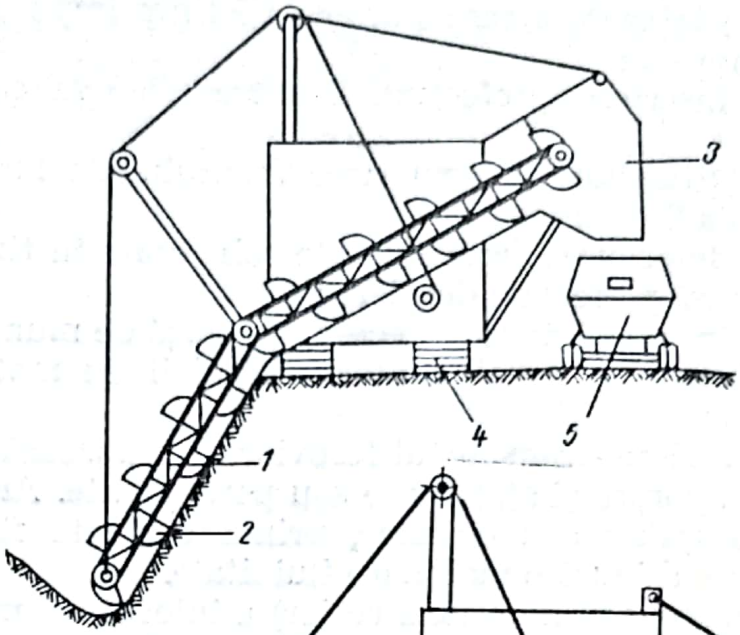


Fig. 2.7. Excavator cu lanț :
1 — braț articulat (elindă) ; *2* — cupă; *3* — loc de descărcare; *4* — sistem de deplasare; *5* — mijloc de transport.

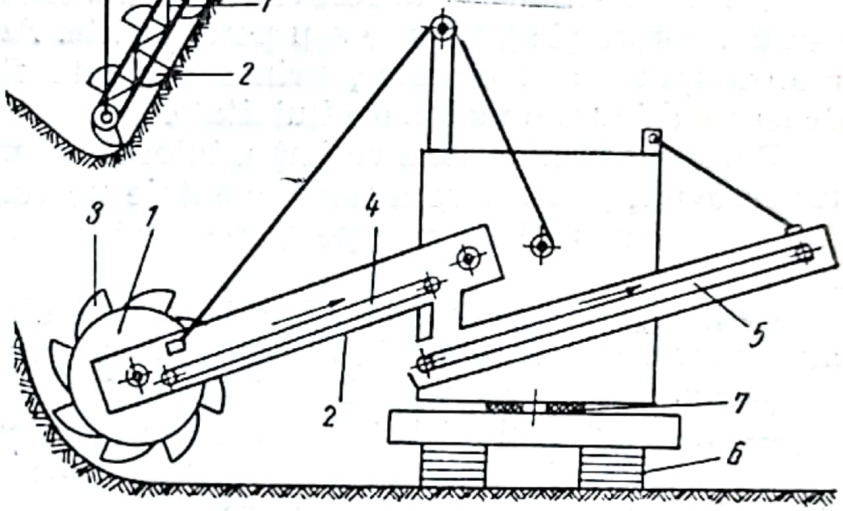


Fig. 2.8. Excavator cu roată cu cupe :
1 — roata cu cupe; *2* — braț articulat; *3* — cupă; *4, 5* — benzi de transport; *6* — sistem de deplasare; *7* — mecanism de rotire a platformei.

2.3. TRANSPORTUL MATERIILOR PRIME DE LA CARIERĂ LA FABRICĂ

Deplasarea materiilor prime extrase din carieră pînă la fabrică la locul de utilizare, implică un transport intermediar — în carieră, cu scopul de a deplasa materialul derocat de la locul de extragere la mijlocul de transport care îl va duce la fabrică și un transport principal — de la carieră la fabrică, pe distanțe care pot ajunge la 20—30 km.

În funcție de natura și cantitatea de materii prime, de relieful terenului și de distanța carieră-fabrică, transportul principal se poate realiza feroviar, auto, cu funicularul sau cu benzi transportoare.

Transportul feroviar are o utilizare de natura reliefului din zona respectivă ; el se poate folosi numai în cazul unor pante de cel mult 3—4%. Se poate realiza fie pe cale ferată normală, cu ecartament 1 437 mm (C.F.N.), fie pe care ferată îngustă (C.F.I.) cu ecartament de 600, 750, 900 sau 1 000 mm. Prezintă avantajul unor utilaje robuste,

Scanned with OKEN Scanner

care se fabrică în țară ; în același timp implică însă o serie de dezavantaje ca :

— înscrierea defectuoasă a traseelor în cazul unui relief accidentat ;

— dificultăți în urmărirea frontului de lucru (prin mutarea periodică a liniilor) ;

— deteriorări frecvente ale căii ferate în timpul derocărilor, ceea ce creează pericol de deraieri ;

— investiții mari și necesar de forță de muncă mare ;

— stagnări în alimentarea fabricii cu materii prime în caz de defectare.

În carieră, transportul feroviar se realizează pe linii ferate mobile sau temporare și staționare sau permanente. Amplasarea lor se poate realiza radial sau circular, prima variantă fiind mai avantajoasă, deoarece asigură o mai mare fluiditate.

Transportul auto (sau rutier) a înlocuit în mare măsură transportul feroviar, ca urmare a unor avantaje pe care le prezintă :

— accesul mai ușor și pe trasee mai scurte la cota frontului de lucru ;

— independența vehiculelor, în sensul că defectarea unuia nu atrage după sine stagnări în întregul transport ;

— aprovizionarea mai ritmică a stației de concasare ;

— investiții mai mici și personal de deservire mai redus ca număr ;

— ușurință în manevrarea vehiculelor, ceea ce permite scurtarea duratei de încărcare și descărcare.

Pentru a fi economic, transportul auto presupune o întreținere foarte bună a drumurilor ; în caz contrar, costul reparațiilor auto și consumul de anvelope ridică mult cheltuielile de transport. De asemenea, este mai economică folosirea unor vehicule de mare capacitate. Consumul mare de carburant caracteristic acestui tip de transport limitează totuși extinderea sa, în condițiile actualei crize energetice.

Transportul auto este utilizabil la o pantă de cel mult 15%.

Transportul cu funicularul este recomandabil în cazul unui relief foarte accidentat. Ca principale dezavantaje sînt de semnalat dificultățile legate de înlăturarea unor avarii (îndeosebi iarna) și greutățile (atît financiare, cît și constructive) care apar dacă se impune mărirea capacității liniei de transport.

La debite mari de transport este deosebit de avantajoasă utilizarea transportoarelor cu bandă. Ele pot ajunge pînă la distanțe de transport de 20—30 km și debite de 20 000 t/h. Întrucît aceste transportoare sînt utilizate cel mai ades la transportul uzinal, ele vor fi tratate în capitolul următor.

Scanned with OKEN Scanner

3. TRANSPORTUL UZINAL ŞI DEPOZITAREA MATERIALELOR

Operaţiile auxiliare privind transportul şi depozitarea materialelor sînt indispensabile realizării proceselor tehnologice principale, cu care se intercondiţionează reciproc.

3.1. TRANSPORTUL UZINAL

Scopul operaţiei de transport este de a asigura un flux de materiale (cît mai) constant între diferitele utilaje tehnologice, precum şi aducerea produselor la locul de depozitare. Materialele transportate în industria lianţilor sînt în majoritatea cazurilor mase granulare sau pulverulente. La alegerea sistemelor de transport trebuie avute în vedere următoarele :

— să nu apară pierderi de material sau impurificarea acestuia cu corpuri străine pe parcurs ;

— materialul să nu se dezamestece ;

— să nu se producă modificarea compoziţiei granulometrice ;

— utilajele să fie robuste, de construcţie simplă, de funcţionare sigură şi întreţinere uşoară ;

— căile de circulaţie a materialelor să fie cît mai scurte şi cu configuraţie simplă, să cuprindă un număr minim de tipuri diferite de instalaţii de transport.

Numărul mare de tipuri de instalaţii de transport face dificilă clasificarea lor ; în această lucrare se adoptă o clasificare conform schemei din fig. 3.1.

3.1.1. TRANSPORTOARE CU BANDĂ

Transportoarele cu bandă (flexibilă, continuă, confecţionată de obicei din cauciuc) se utilizează pentru transportul materialelor granulare vărsate şi uneori, al sarcinilor individuale (saci). În fig. 3.2 sînt prezentate elementele componente ale unui transportor cu bandă.

Scanned with OKEN Scanner

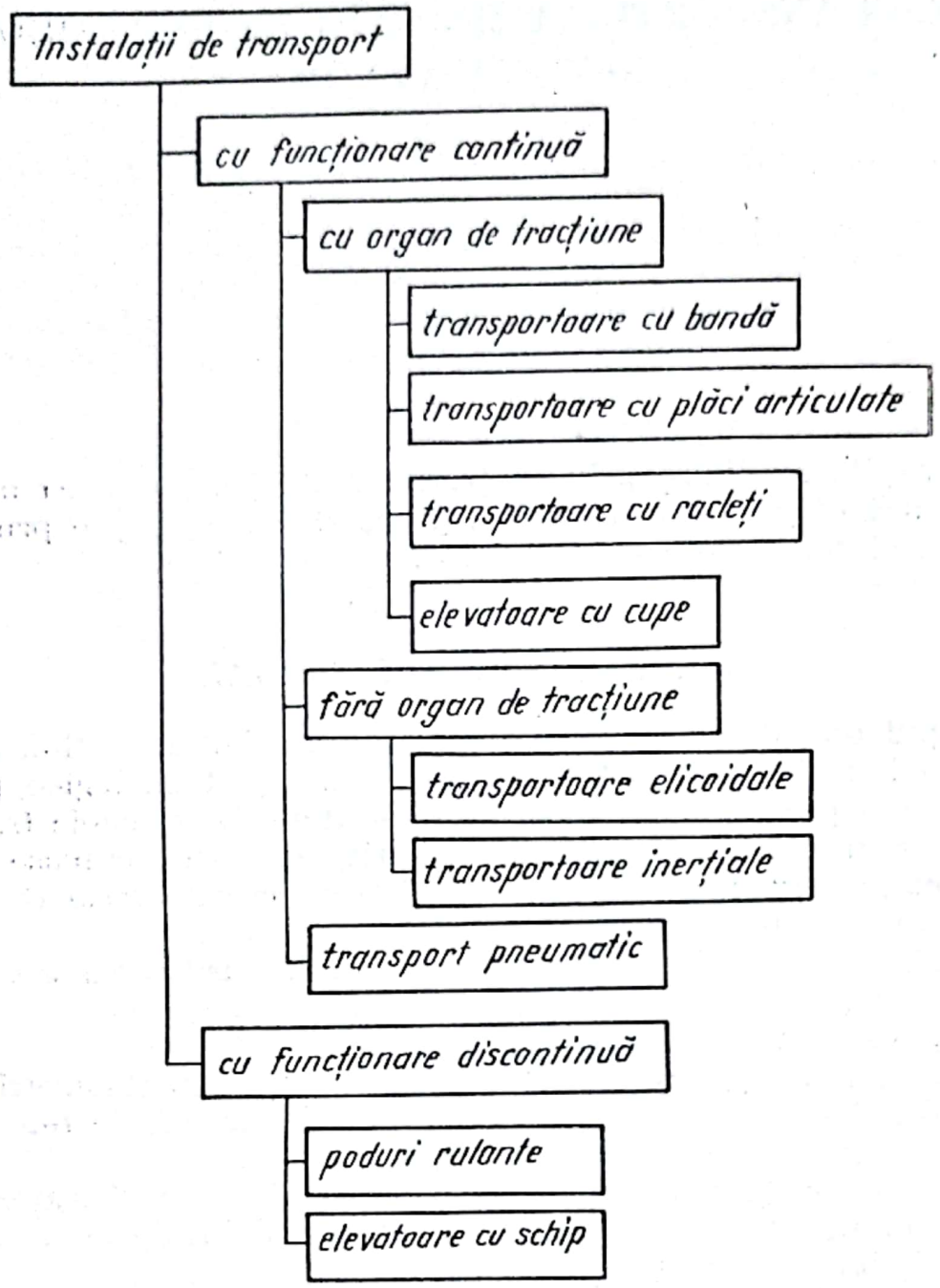


Fig. 3.1. Clasificarea instalațiilor de transport.

Transportoarele cu bandă pot fi orizontale, înclinate pînă la 30° față de orizontală dacă au suprafața netedă, sau chiar 60° pentru benzi cu nervuri. Lungimea unui tronson poate varia între 2 și 4 000 m. Temperatura materialului transportat poate fi cuprinsă între 230° și 400 °K.

Scanned with OKEN Scanner

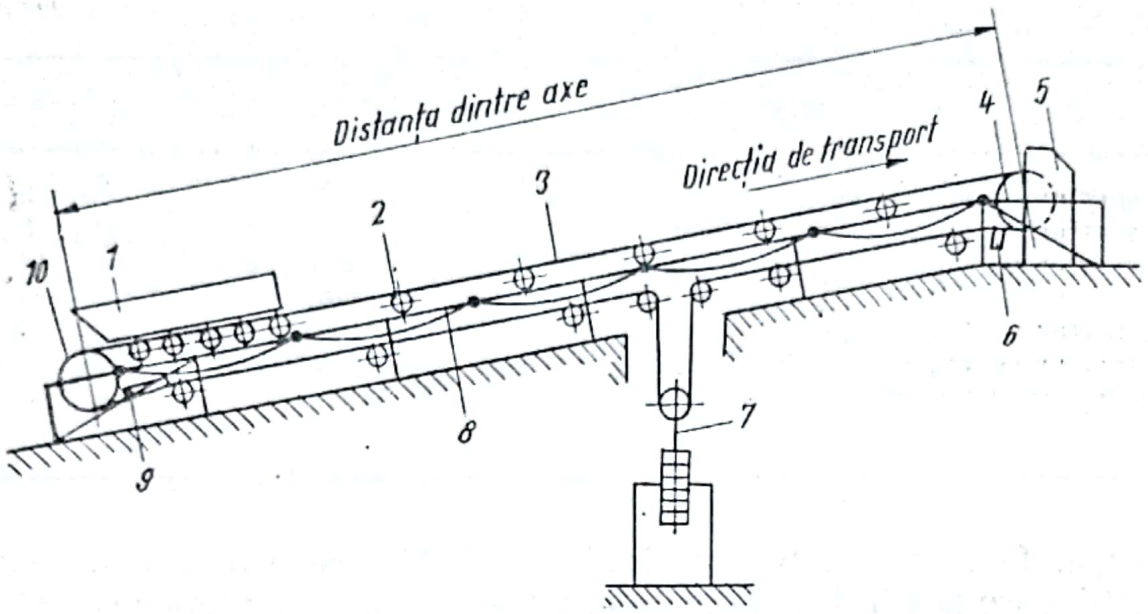


Fig. 3.2. Construcția transportorului cu bandă :

1 — cutie (pîlnie) de alimentare; *2* — role de susținere; *3* — bandă flexibilă; *4* — tambur de antrenare; *5* — cutie (pîlnie) de descărcare; *6* — dispozitiv de curățare exterior; *7* — dispozitiv de întindere; *8* — schelet portant; *9* — dispozitiv de curățire interior; *10* — tambur de întoarcere.

Capacitatea maximă de transport a unui transportor cu bandă de cauciuc este dată de relația (STAS E.7539-66) :

$$Q = K_\alpha \cdot K \cdot v \cdot \rho_m \cdot (0{,}009\ B - 0{,}5)^2 \quad [t/h]$$

în care :

K_α este un coeficient care ține seama de înclinația maximă a traseului, indicat în tabelul 3.1 ;

K — coeficient care ține seama de forma secțiunii transversale a ramurii purtătoare a benzii de transport, indicat în tabelul 3.2 ;

v — viteza de deplasare a benzii (1—2,5 m/s) ;

ρ_m — densitatea în vrac a materialului, în t/m^3 ;

B — lățimea benzii de transport, în mm.

Lungimea maximă a transportoarelor cu bandă depinde de tensiunea de întindere maximă pe care o poate suporta banda, fără a

Tabelul 3.1

α_0	0—3	4	5	6—7	8	9	10—24	25	26
K	1	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93—0,7	0,69	0,66

α_0 — înclinație în grade

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.2

Tipul de transportor	K
Transportor cu bandă plată	2
Transportor cu jgheab, din 2 role înclinate 15°	3,8
Transportor cu jgheab, din 3 role, cu rolele laterale înclinate la 20°	4
înclinate la 30°	4,9
Transportor cu bandă deservit de descărcătoare cu plug	2
Transportor cu bandă jgheab din 3 role, deservit de descărcător cu cărucior, cu rolele laterale înclinate la 20°	3
30°	3,5

se rupe. Pentru mărirea tensiunii admisibile se introduc în bandă inserții, care pot fi din pînză de bumbac, din fibre sintetice sau sîrmă de oțel (fig. 3.3). Numărul și natura inserțiilor depind mai ales de lățimea benzii, care variază între 300 și 1 600 mm.

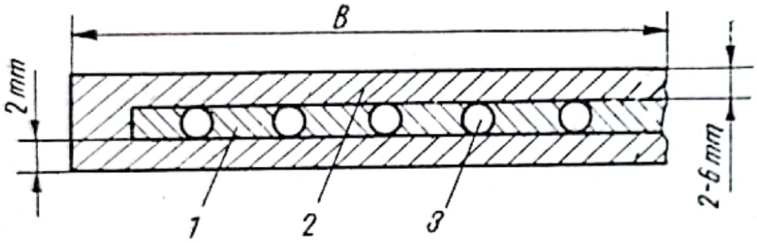


Fig. 3.3. Secțiune transversală printr-o bandă cu inserție din sîrmă de oțel : *1* — miez de cauciuc; *2* — inveliș rezistent la uzură; *3* — sîrmă de oțel (cablu).

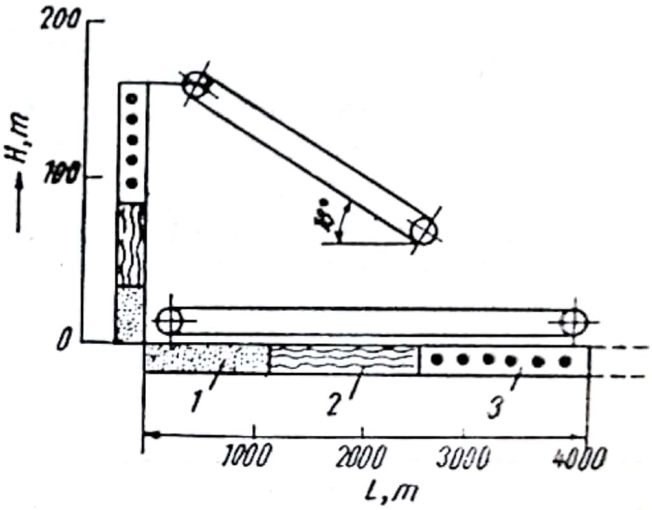


Fig. 3.4. Lungimea și înălțimea transportoarelor cu bandă, în funcție de natura inserțiilor : *1* — inserții din bumbac; *2* — inserții din fire sintetice; *3* — inserții din cablu de oțel.

Lungimea unui transportor orizontal, respectiv înălțimea maximă a unuia cu o înclinație de 18° față de orizontală, în funcție de natura inserțiilor, rezultă din fig. 3.4.

Scanned with OKEN Scanner

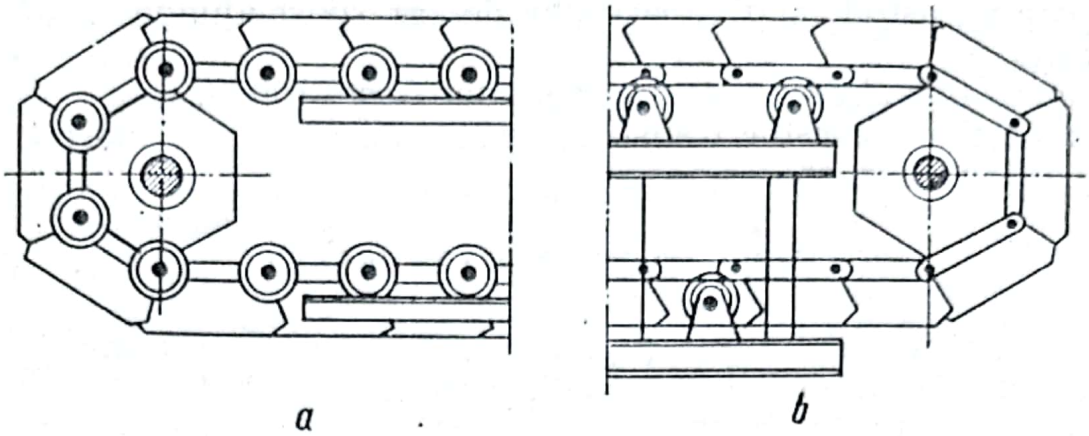


Fig. 3.5. Transportor cu plăci articulate :
a — cu role mobile; *b* — cu role fixe.

Principalele avantaje ale transportoarelor cu bandă sînt : construcție simplă, capacitate de transport mare, consum specific de energie redus, funcționare silențioasă, întreținere ușoară, posibilități largi de automatizare.

3.1.2. TRANSPORTOARE CU PLĂCI ARTICULATE

Transportoarele cu plăci articulate nu mai au un organ unic care să îndeplinească atît rolul de suport al materialului cît și cel de tracțiune, ca la transportoarele cu bandă. Ele sînt alcătuite dintr-o serie de plăci din tablă, articulate între ele, susținute de două lanțuri de tracțiune și de role, dintr-un tambur de acționare și unul de întoarcere.

După felul rolelor se deosebesc *transportoare cu role mobile* care rulează atît la ducere, cît și la întoarcere pe șine fixe (fig. 3.5) și *transportoare cu role fixe* care susțin lanțurile de tracțiune.

Transportoarele cu plăci articulate servesc mai ales la transportul materialelor granulare în bucăți mari (pînă la 2 000 kg) — de exemplu ca alimentatoare pentru concasoarele primare, precum și pentru transportul materialelor fierbinți — de exemplu al clincherului de la răcitor la depozit.

Ele pot urma trasee orizontale sau înclinate (adoptînd o formă corespunzătoare a plăcilor) pînă la 60° față de orizontală. Datorită construcției lor mai complicate, transportoarele cu plăci articulate trebuie construite mai masiv decît cele cu bandă, au frecări mari și viteze de transport mai mici (0,1—0,25 m/s ; se poate ajunge la 0,6—1,3 m/s prin mărirea diametrului rolelor).

Pentru a realiza debite de transport satisfăcătoare la aceste viteze mici, transportoarele cu plăci articulate au lățimi mai mari (pînă

Scanned with OKEN Scanner

la 2 000 mm), astfel încît capacitatea de transport ajunge la 1 500—2 000 t/h).

Lungimea maximă de transport nu depășește 100 m.

Dezavantajele acestor transportoare sînt : uzură mai mare și putere de acționare mare.

3.1.3. TRANSPORTOARE CU RACLEȚI

Transportorul cu racleți (fig. 3.6) se compune dintr-un jgheab de-a lungul căruia sînt tîrîți racleți, care pot fi sub formă de plăci, bare etc. Organul de tracțiune este constituit din două lanțuri. Ramura de întoarcere se găsește fie în același jgheab ghidată de dispo-

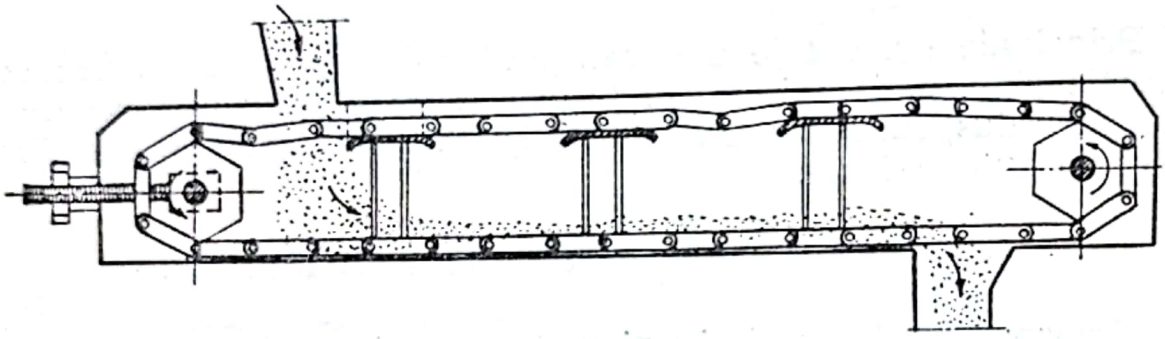


Fig. 3.6. Transportor cu racleți.

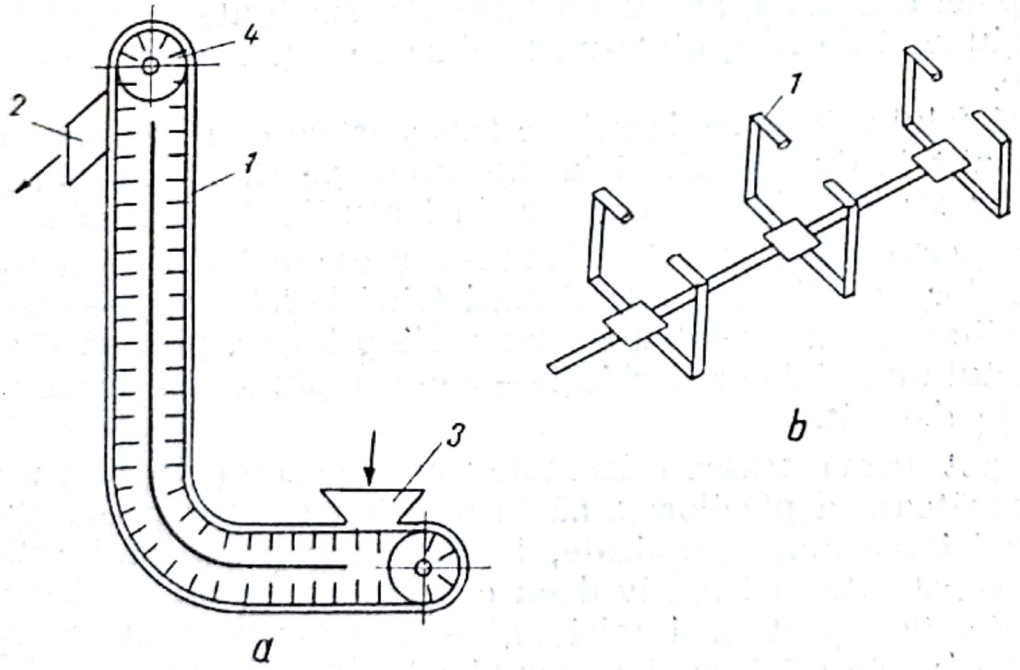


Fig. 3.7. Transportor Redler :

a — schemă generală; *b* — detaliu lanț : *1* — racletă în formă de U; *2* — loc de descărcare; *3* — pîlnie de încărcare; *4* — tambur de antrenare.

Scanned with OKEN Scanner

zitive de susținere, fie într-un jgheab separat care poate fi utilizat pentru un transport în direcție inversă. Încărcarea transportorului se face printr-un tub, iar descărcarea printr-un orificiu practicat în partea inferioară a jgheabului.

Lățimea jgheabului (deci și a racleților) este cuprinsă între 300 și 1 200 mm, iar înălțimea este de 150—300 mm.

Vitezele de transport sînt mici : 0,1—0,3 m/s. Lungimea de transport nu depășește 70—80 m, iar debitele de transport ajung la 200—300 t/h.

Transportoarele cu racleți sînt utilaje simple și ieftine care pot transporta materialele granulare pe orizontală sau pe traiectorii înclinate (pînă la 30—40°). O variantă constructivă a transportoarelor cu racleți este *transportorul Redler* (fig. 3.7), care poate transporta materialul granular pe verticală.

Capacitatea transportoarelor cu racleți se poate determina cu relația :

$$Q = 3{,}6 \cdot S \cdot \psi \cdot \rho_m \cdot v \quad [t/h]$$

în care :

S este aria secțiunii transversale a jgheabului, în m^2 ;
ψ — coeficient de umplere, cuprins între 0,75 și 0,9 ;
v — viteza de mișcare a racleților, în m/s ;
ρ_m — densitatea în vrac a materialului.

Avantajele acestor transportoare sînt : gabarit mic, ușurința instalării, funcționare lipsită de degajare de praf, posibilitatea de a transporta materiale fierbinți. Dezavantajele se referă la : uzură ridicată, putere de acționare relativ mare, posibilitatea fărîmițării materialului în timpul transportului.

3.1.4. ELEVATOARE CU CUPE

Elevatoarele cu cupe se utilizează pentru transportul pe verticală sau sub un unghi de înclinare față de orizontală mai mare de 70°. Schița de ansamblu al unui elevator cu cupe este prezentată în fig. 3.8.

Ca organ de transport servesc cupele care pot fi adînci sau deschise (fig. 3.9). Dimensiunile caracteristice ale cupei sînt lățimea B care variază între 80 și 1 250 mm și deschiderea A cuprinsă între 74 și 400 mm.

Ca organ de tracțiune poate servi o bandă de cauciuc, pentru *elevatoarele rapide* ($v > 1$ m/s) sau lanțuri continue, mai ales pentru *elevatoarele lente* ($v < 0{,}5$ m/s). Prinderea cupei de organul de trac-

Scanned with OKEN Scanner

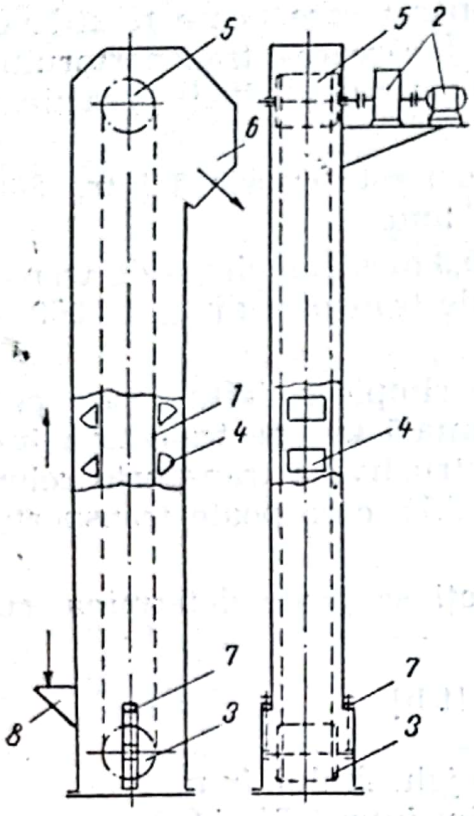


Fig. 3.8. Elevator cu cupe :
1 — organ de tracțiune; *2* — sistem de antrenare; *3* — tambur de întindere; *4* — cupă; *5* — tambur de acționare; *6* — jgheab de golire; *7* — dispozitiv de întindere; *8* — pîlnie de alimentare.

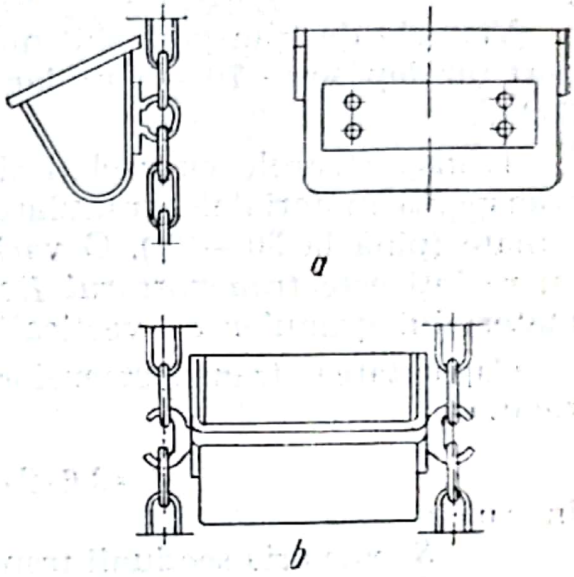


Fig. 3.10. Modul de prindere a cupei de organul de tracțiune :
a — pe peretele din spate; *b* — lateral.

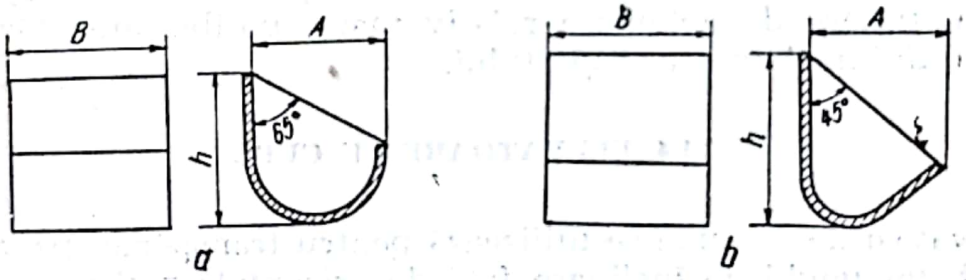


Fig. 3.9. Cupe de elevator :
a — cupă adîncă; *b* — cupă deschisă.

țiune se poate face fie pe peretele din spate (fig. 3.10, *a*), fie de laturile cupei (fig. 3.10, *b*).

Capacitatea de transport a elevatoarelor cu cupe poate atinge 1 000 t/h ; înălțimea de ridicat poate ajunge la 60 m la construcția cu lanțuri și la 100 m la cea cu bandă de cauciuc.

Umplerea cupelor se face fie prin îngroparea în materialul care se alimentează prin pîlnie, fie prin curgerea materialului direct în cupe

Scanned with OKEN Scanner

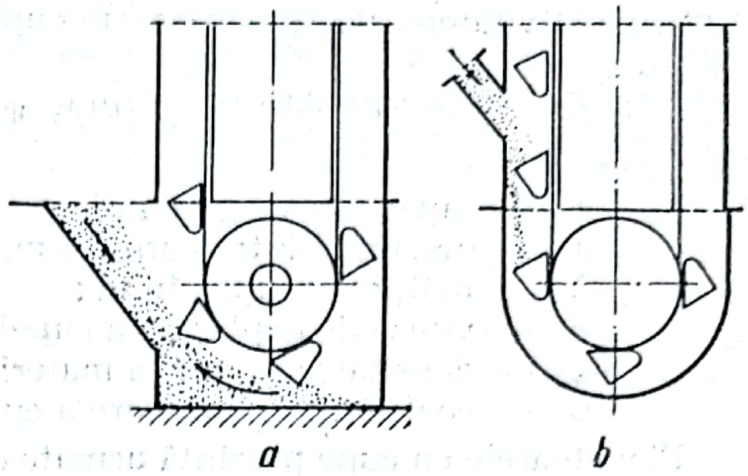


Fig. 3.11. Alimentarea elevatoarelor cu cupe:
a — prin scufundare în material;
b — prin curgere directă.

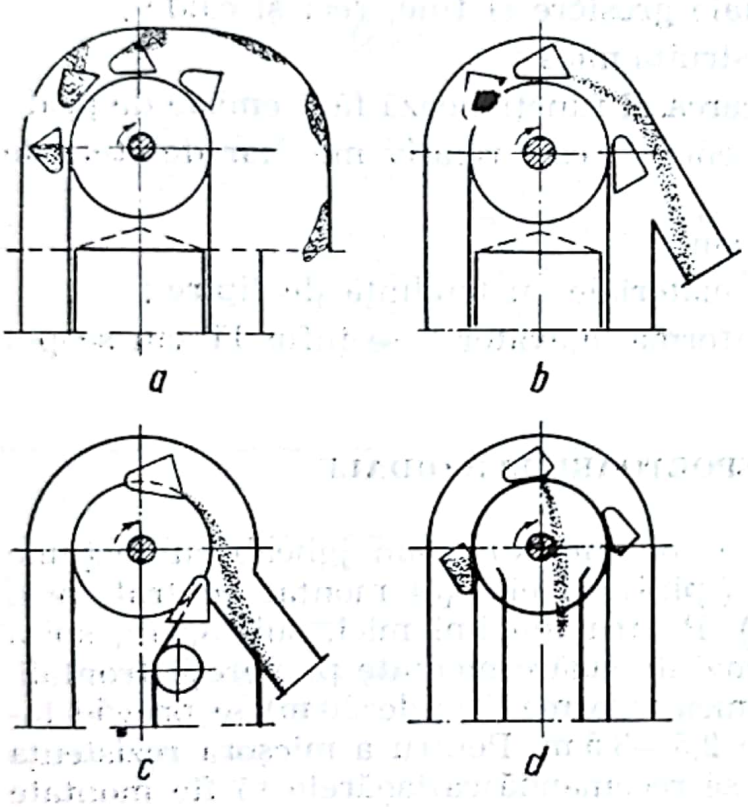


Fig. 3.12. Modurile de descărcare a elevatoarelor cu cupe:
a — centrifugală; *b* — gravitațională; *c* — gravitațională dirijată; *d* — gravitațională cu descărcare centrală.

(fig. 3.11). Primul procedeu se aplică la materialele neabrazive, pulverulente, al doilea se folosește cînd materialul este abraziv sau în bucăți mai mari.

Descărcarea elevatoarelor cu cupe depinde în cea mai mare măsură de turația tamburului de acționare (superior), respectiv de raportul dintre componenta centrifugală și cea gravitațională a forței care acționează asupra bucății de material la trecerea peste tambur.

După modul de descărcare se deosebesc elevatoare cu descărcare centrifugală, gravitațională, gravitațională dirijată și gravitațională cu descărcare centrală (fig. 3.12, *a*, *b*, *c*, *d*).

Scanned with OKEN Scanner

Productivitatea elevatoarelor cu cupe se determină cu relația :

$$Q = 3{,}6 \cdot h \cdot \frac{i}{a} \cdot v \cdot \rho_m \cdot \psi \quad [\text{t/h}]$$

în care :

i este capacitatea cupei, în l ·
a — distanța dintre cupe, în m, $a = (2{,}4 \ldots 3)\, h$;
h — înălțimea cupei, în m ;
v — viteza de deplasare a cupelor, în m/s ;
ρ_m — densitatea în vrac a materialului, în t/m^3 ;
ψ — coeficient de umplere a cupelor, $\psi = 0{,}4 \ldots 0{,}7$.

Elevatoarele cu cupe prezintă următoarele avantaje :

— pot transporta materiale grosiere și fine, reci și calde ;
— ocupă o suprafață construită mică ;
— la o etanșare bună a carcasei funcționează fără emisie de praf ;
— consumul specific de energie este relativ mic, iar debitele de transport sînt mari.

Dezavantajele principale sînt :

— nu se pot transporta materiale cu tendință de lipire ;
— la o alimentare neuniformă, elevatorul se înfundă sau se pot rupe lanțurile.

3.1.5. TRANSPORTOARE ELICOIDALE

Transportorul elicoidal se compune dintr-un jgheab cu secțiune semicilindrică și un șurub (spiră) elicoidal(ă) montat central, prin lagăre, în jgheab (fig. 3.13). Pentru lungimi mici, sub 3,5 m, spira elicoidală este susținută numai de lagăre montate pe pereții frontali. La lungimi mai mari (lungimea maximă este de 30 m) se prevăd lagăre intermediare la fiecare 2,5—3,5 m. Pentru a micșora rezistența la înaintare a materialului, se recomandă ca lagărele să fie montate pe capacul transportorului.

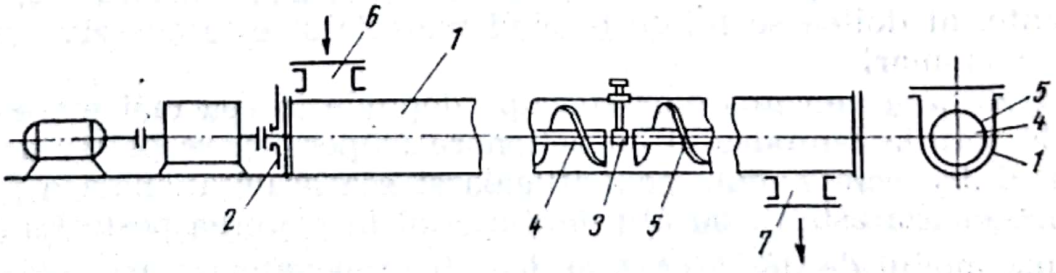


Fig. 3.13. Transportor elicoidal :
1 — jgheab cu fund cilindric; *2* — lagăr de capăt; *3* — lagăr intermediar; *4* — arbore; *5* — șurub elicoidal; *6* — gură de alimentare; *7* — tub de descărcare.

Scanned with OKEN Scanner

Încărcarea materialului pulverulent în transportor se face printr-un tub fixat pe capac, iar descărcarea se poate face în orice punct al jgheabului printr-un orificiu practicat în partea inferioară ; orificiul se poate închide la nevoie printr-un șubăr.

Spira elicoidală se execută în două forme constructive : plină pentru materiale pulverulente și sub formă de bandă pentru materiale granulare mai grosiere — se evită astfel pericolul de înțepenire (fig. 3.14).

Transportoarele elicoidale se construiesc orizontale sau cu înclinări pînă la 20 °C. Diametrul melcului este cuprins între 160—1 000 mm, avînd o turație de 5—500 rot/min.

Debitul transportoarelor elicoidale rezultă din relația :

$$Q = 60 \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \varphi \cdot n \cdot \rho_m \cdot p \cdot k_p \ [\text{kg/h}]$$

în care :

D este diametrul melcului, în m ;
p — pasul melcului, în m ;
φ — gradul de umplere a secțiunii jgheabului ($\varphi = 0{,}2—0{,}4$) ;
ρ_m — densitatea în vrac a materialului, în kg/m^3 ;
n — turația melcului, în rot/min ;
k_p — coeficient de pantă (vezi tabelul 3.3).

Tabelul 3.3

Înclinația, grade	0	5	10	15	25
k_p	1,0	0,9	0,8	0,7	0,65

Avantajele transportorului cu melc sînt :

— alimentarea, respectiv descărcarea se poate face în orice punct al transportorului ;

— se pot transporta materiale calde, avînd temperaturi pînă la 200 °C ;

— materialul transportat este concomitent omogenizat (amestecat) ;

— direcția de transport este reversibilă (prin inversarea sensului de rotire a melcului.

Dezavantajele principale sînt :

— transportorul cu melc poate fi utilizat numai pentru materiale fine ;

— uzura melcului și a jgheabului este mare ;

— din cauza frecărilor, consumul specific de energie este ridicat.

Scanned with OKEN Scanner

3.1.6. TRANSPORTUL PNEUMATIC

Principiul transportului pneumatic constă în introducerea materialului într-un curent de aer avînd o viteză bine stabilită, a cărui energie cinetică este capabilă să transporte materialul pînă la locul de destinație.

Transportul se poate face prin *antrenarea* materialului sau prin *fluidizare*. Primul procedeu se realizează prin *refulare* (fig. 3.15), prin *aspirație* (fig. 3.16) sau *mixt* prin *aspirație plus refulare*, prin combinarea acestor două scheme.

În industria lianților, instalațiile de transport prin aspirație se folosesc numai pentru desprăfuiri, pentru transportul și separarea prafului depus în instalațiile de preparare, cuptoare sau transportoare mecanice, precum și la mașinile de însăcuire, la aerarea silozurilor etc.

Distanța maximă de transport depinde de diferența de presiune dintre duza de aspirație și mașina pneumatică. Întrucît diferența de presiune nu depășește 0,5 at, transportul pneumatic prin aspirație se aplică numai pentru distanțe mici de transport.

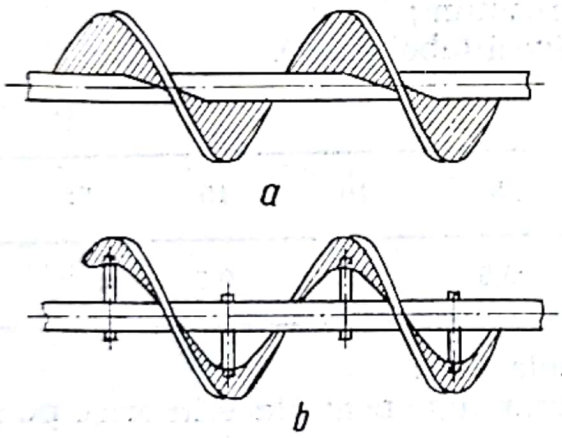


Fig. 3.14. Forme constructive ale spirelor elicoidale :
a — spiră plină; *b* — bandă.

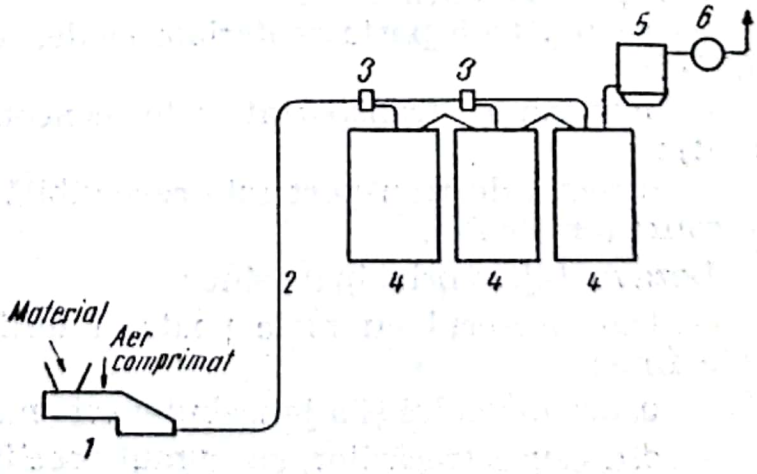


Fig. 3.15. Schema instalației de transport pneumatic prin refulare :
1 — alimentator; *2* — conductă de transport *3* — ramificații; *4* — silozuri; *5* — filtru; *6* — mașină pneumatică.

Scanned with OKEN Scanner

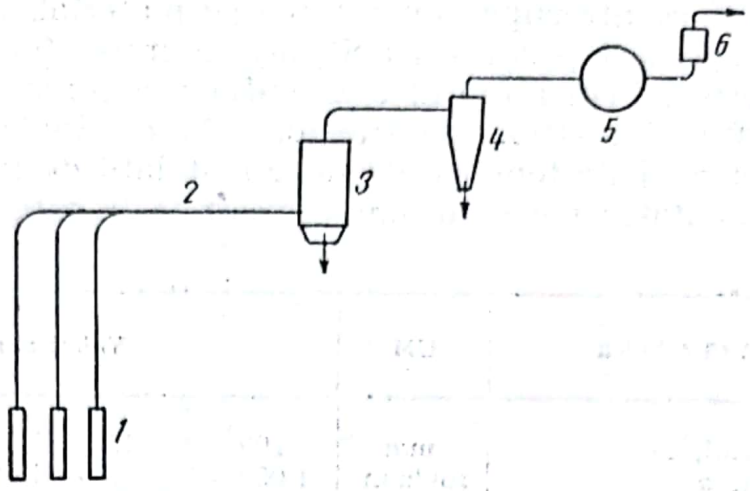


Fig. 3.16. Schema instalației de transport pneumatic prin aspirație :

1 — duze de aspirație; *2* — conductă de transport; *3* — separator (ciclon); *4* — desprăfuitor; *5* — mașină pneumatică; *6* — amortizor de zgomot.

Transportul pneumatic prin refulare utilizează aer comprimat de 0,4—8 at. Pentru introducerea materialului în curentul de aer se folosesc alimentatoare elicoidale și alimentatoare cu recipienți de presiune.

Transportul pneumatic prin refulare, cu alimentator elicoidal (pompa Fuller) are ca element specific acest alimentator (fig. 3.17) format dintr-un transportor elicoidal scurt, cu îndesare. Materialul este introdus printr-un dozator sau direct din pîlnia buncărului *1* și transportat de melcul *2* cu pas variabil, în camera de amestec *3*. Melcul se învîrtește cu 750—1 500 rot/min într-un cilindru *4*, prevăzut cu o cămașă de uzură *5*. La ieșirea materialului din cilindru se află clapeta *6*, acționată de contragreutatea 7, care împiedică pătrunderea aerului comprimat în cilindru, în cazul în care dintr-un

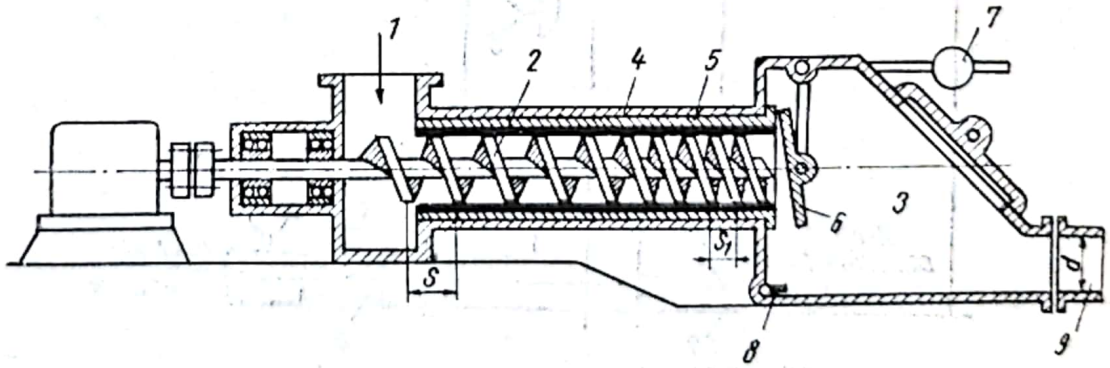


Fig. 3.17. Alimentator elicoidal :

1 — pîlnie de alimentare; *2* — melc; *3* — cameră de amestec; *4* — corp cilindric; *5* — cămașă de uzură; *6* — clapetă; *7* — contragreutate; *8* — conductă de aer comprimat; *9* — conductă de transport.

Scanned with OKEN Scanner

motiv oarecare se întrerupe alimentarea cu material. În același scop, melcul are de obicei pasul variabil, acesta micșorîndu-se către camera de amestec. Prin ajutajul *8* se suflă aer comprimat cu viteze de pînă la 300 m/s ; viteza de transport în conductă este de circa 20 m/s. Caracteristicile tehnice ale unor instalații de transport pneumatic cu alimentator elicoidal sînt prezentate în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4

Caracteristică tehnică	UM	Valori numerice			
Diametrul melcului, D	mm	100	150	200	250
Turația melcului, n	rot/min	1 000—1 500	750—1 000	750—1 000	750
Diametrul conductei, d de transport	mm	50—70	75—125	125—150	150—200
Capacitatea de transport Q	t/h	6—15	20—40	50—120	100—200
Puterea motorului, N	kW	10—15	25—50	70—100	100—150

Capacitatea de transport depinde de densitatea materialului transportat, alimentatorul elicoidal fiind un aparat de transport volumic.

Distanța de transport ajunge la 1 200—1 500 m.

Transportul pneumatic prin refulare cu recipienți sub presiune folosește pentru alimentare cu material unul sau doi recipienți sub

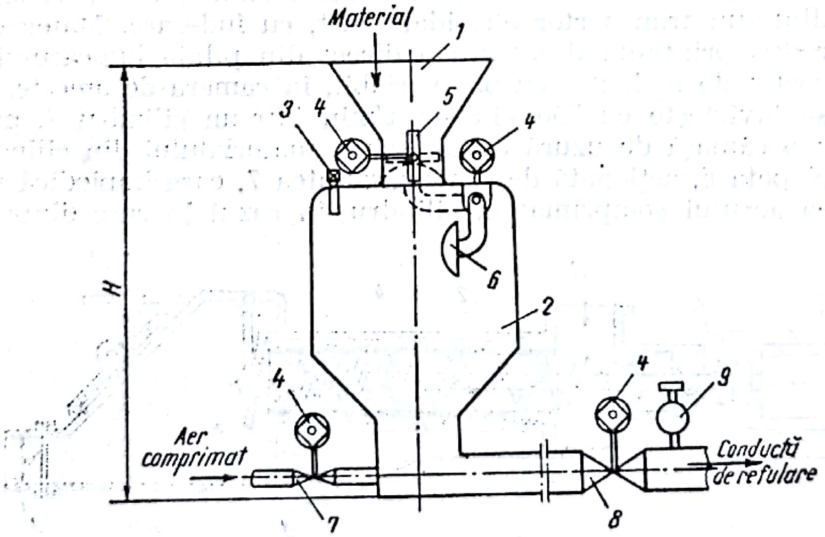
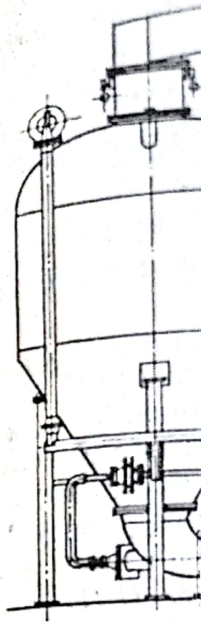


Fig. 3.18. Alimentator cu recipient :
1 — pîlnie de alimentare; *2* — recipient de presiune; *3* — indicator de nivel; *4* — servomotoare; *5, 6* — clapete; *7* — ventil pentru aer comprimat; *8* — ventil pentru suspensie; *9* — manometru.



F

presiune (fig
cipientul 2 p
ționează ser
deschide apo
permite intr
tea pîlniei d
pientului 2
deservi mori

După gol
port scade b
chiderea ven
rat și mai m
cunde, o nou

Capacitat
cu un singur
pienți jumel
mea construc
fig. 3.19 se p

Elevatoru
pentru trans
înălțimi de 7
fără dispozit

Scanned with OKEN Scanner

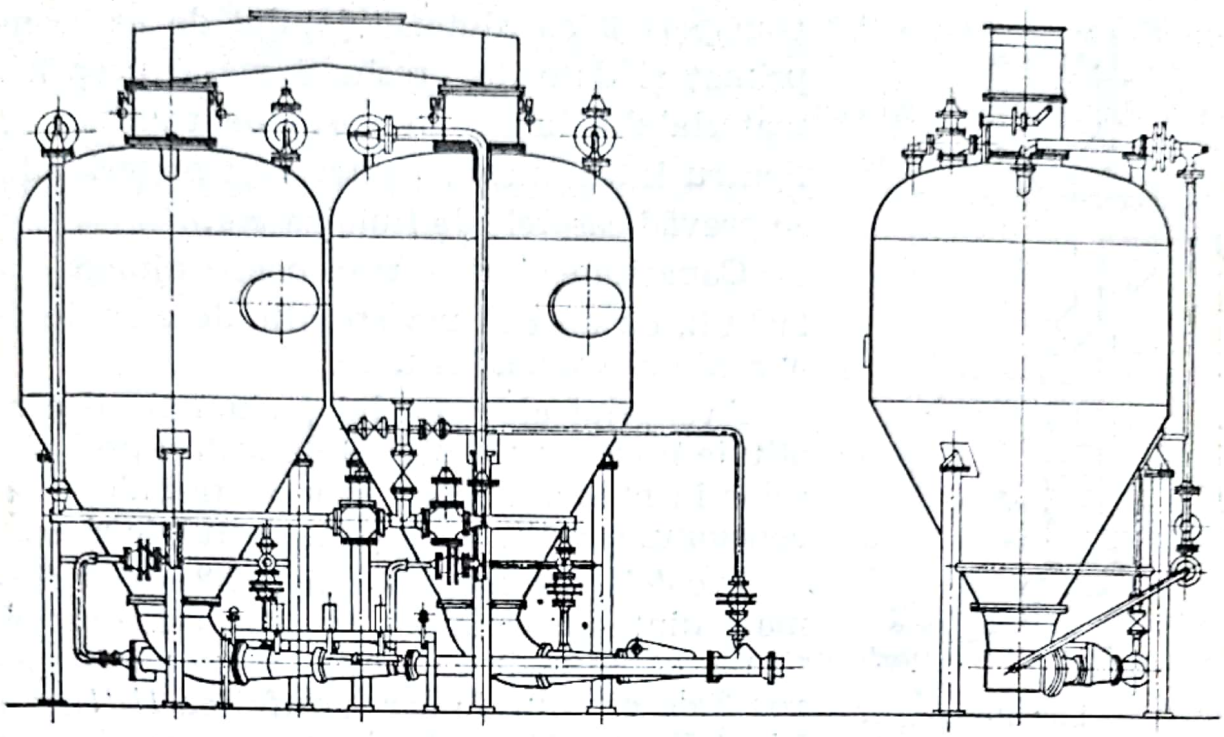


Fig. 3.19. Recipienți sub presiune jumelați (în paralel).

presiune (fig. 3.18). Materialul din pîlnia de alimentare *1* umple recipientul *2* pînă cînd indicatorul de nivel *3* emite impulsul care acționează servomotoarele *4* ale clapetelor *5* și *6* care se închid. Se deschide apoi ventilul *7* din conducta de transport și ventilul *8* care permite introducerea aerului comprimat în recipientul *2*. Capacitatea pîlniei de alimentare *1* trebuie să fie mai mare decît cea a recipientului *2* pentru ca alimentatorul cu funcționare ciclică să poată deservi mori sau alte instalații cu debit continuu de material.

După golirea recipientului contrapresiunea în conducta de transport scade brusc și manometrul *9* cu contact de minim, comandă închiderea ventilului de aer *8*. Cînd presiunea în recipient s-a micșorat și mai mult, un releu cu întîrziere declanșează, după cîteva secunde, o nouă operație de transport, prin deschiderea supapelor *5* și *6*.

Capacitatea de transport este de 5—100 m^3/h pentru instalațiile cu un singur recipient și de 7—200 m^3/h pentru instalațiile cu recipienți jumelați. Folosirea de doi recipienți în paralel reduce înălțimea constructivă, pentru același debit transportat, la jumătate. În fig. 3.19 se prezintă doi recipienți montați în paralel (jumelați).

Elevatorul pneumatic (air lift), prezentat în fig. 3.20, se folosește pentru transportul pe verticală a materialelor pulverulente pînă la înălțimi de 70—80 m. Materialul curge direct în vasul de transport *1*, fără dispozitiv special de alimentare și este introdus în tubul de

Scanned with OKEN Scanner

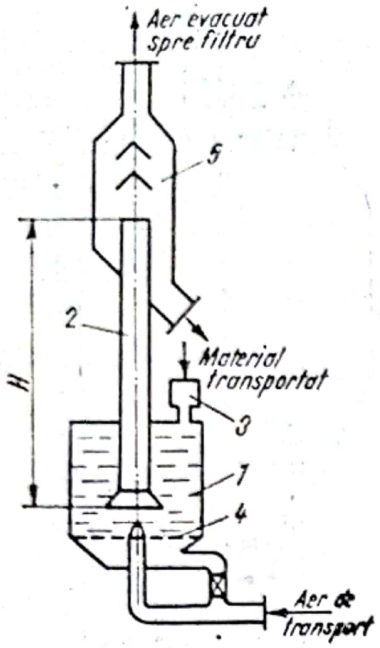


Fig. 3.20. Elevator pneumatic :

1 — recipient de transport (primire); *2* — conductă de transport; *3* — gură de alimentare cu material; *4* — casete de fluidizare; *5* — separator cu șicane.

transport *2* cu ajutorul jetului de aer comprimat și datorită presiunii masei proprii a materialului aflat în vasul de transport *1*. Pentru intensificarea antrenării materialului se prevăd casetele de fluidizare *4*.

Capacitatea de transport ajunge la 200 t/h, cu un consum specific de energie de aproximativ 0,6 kWh/t.

Avantajul elevatorului pneumatic îl constituie întreținerea ușoară datorită lipsei pieselor în mișcare, ca dezavantaj trebuie notat consumul specific de energie destul de ridicat.

Rigolele pneumatice (fig. 3.21) sînt formate dintr-un canal de transport *1*, despărțit pe toată lungimea lui printr-un perete poros *2* de canalul de aer *3*, astfel ca $H_1/H_2=2$. Rigola este formată din tronsoane de 2 m lungime, asamblate prin șuruburi și montate cu o înclinație de 5—15% față de orizontală.

Materialul este alimentat printr-un tub *4* la capătul superior și este fluidizat de aerul insuflat în canalul inferior care trece prin peretele poros, curgînd spre capătul inferior. Aerul uscat este suflat de unul sau mai multe ventilatoare cu suprapresiunea de 2,5—5 kN/m² (0,025—0,05 at).

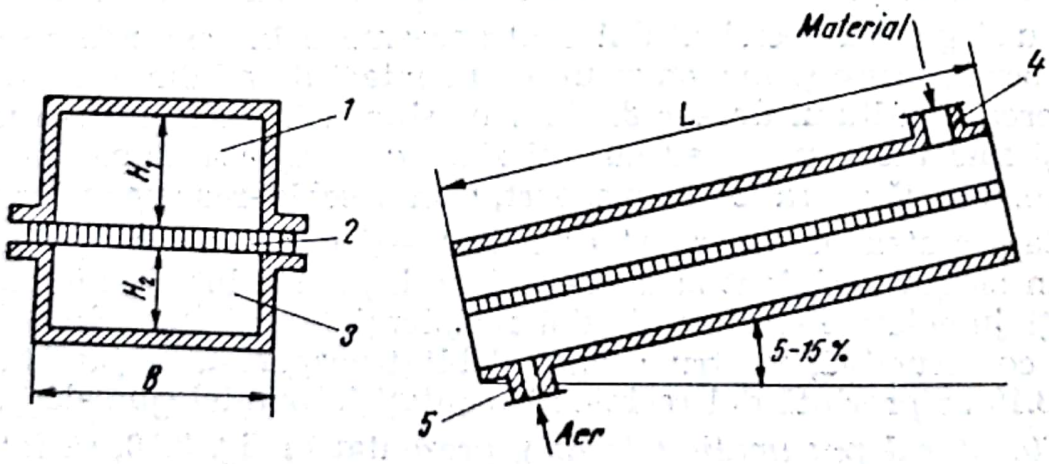


Fig. 3.21. Rigolă pneumatică :

1 — canal de transport; *2* — placă poroasă; *3* — canal pentru aer; *4* — alimentare; *5* — descărcare; H_1 — înălțimea canalului superior; H_2 — înălțimea canalului inferior; *L* — lungimea rigolei.

Scanned with OKEN Scanner

Peretele despărțitor se face din plăci ceramice sau metalice poroase, din materiale textile sau beton poros.

Avantajele rigolei pneumatice sînt următoarele : construcție simplă, întreținere ușoară datorită lipsei de piese în mișcare, consum specific de energie redus, gabarit mic, funcționare silențioasă, fără emisie de praf.

3.2. DEPOZITAREA MATERIALELOR

3.2.1. DEFINIREA ȘI ROLUL DEPOZITĂRII

În fluxul tehnologic al unei fabrici de lianți sînt intercalate depozitări de materiale care servesc, pe de o parte, drept tampon destinat compensării variațiilor în debitul fluxului de materiale, iar pe de altă parte, în vederea omogenizării materialelor în diferitele faze de fabricație. În fig. 3.22 s-a exemplificat schema fluxului de materiale pentru o fabrică de ciment, cu indicarea depozitelor.

În funcție de capacitatea de depozitare se deosebesc : pîlnii de alimentare, buncăre, silozuri, hale și halde.

Pîlniile de alimentare servesc la transvazarea unor materiale granulare de la mijloacele de transport în utilaje tehnologice sau în alte mijloace de transport ; capacitatea lor nu depășește, în general, 10 m^3.

Buncărele sînt depozite care asigură alimentarea continuă a unor utilaje tehnologice, inclusiv în cazul sosirii ciclice (intermitente) a materialelor. Capacitatea lor trebuie să asigure debitul mașinii deservite timp de 2—20 ore ; volumul lor, în general, nu depășește 100 m^3.

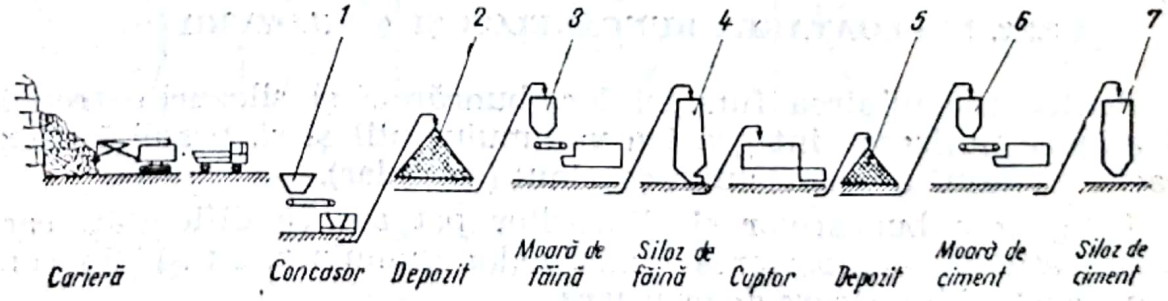


Fig. 3.22. Schema fluxului de materiale într-o fabrică de ciment cu indicarea depozitelor :

1 — pîlnie; *2* — siloz, hală, depozit acoperit sau neacoperit; *3* — buncăr; *4* — siloz; *5* — hală sau siloz; *6* — buncăr; *7* — siloz.

Scanned with OKEN Scanner

După funcția tehnologică se deosebesc :

— buncăre de dozare și alimentare pentru instalațiile de cîntărire, de transport, de alimentare sau tehnologice care urmează în fluxul tehnologic după ele ;

— buncăre de colectare pentru locurile de cădere a prafului ;

— buncăre de distribuție pentru alimentarea mai multor locuri de utilizare a materialului ;

— buncăre tampon într-o linie cu funcționare continuă, pentru compensarea abaterilor debitelor.

Silozurile și halele sînt spații de depozitare închise, pentru păstrarea îndelungată, uneori concomitent cu omogenizarea materialelor granulare sau pulverulente, avînd capacitatea unitară pînă la 50 000 m^3 pentru silozuri și 150 000 m^3 pentru hale.

Silozurile și halele se prevăd pentru următoarele scopuri de depozitare :

— pentru păstrarea (stocarea) îndelungată a materialelor vărsate ;

— pentru asigurarea unui stoc suficient evitării întreruperii producției în cazul unor opriri planificate sau accidentale ;

— pentru pregătirea unui stoc stuficient de produs finit pentru expediere ;

— pentru amestecarea de materiale granulare în scopul uniformizării variațiilor de compoziție.

Haldele descoperite sau acoperite, denumite, în acest ultim caz, *corturi,* servesc la depozitarea unor cantități mari de materiale, de exemplu, calcar concasat, clincher etc. și pot cuprinde un volum de 100 000 m^3 și chiar mai mult.

O importanță deosebită au căpătat, în ultimii ani, haldele de materii prime care realizează preomogenizarea acestora.

3.2.2. EXPLOATAREA BUNCĂRELOR ȘI A SILOZURILOR

Pentru îndeplinirea funcției lor, buncărele și silozurile trebuie să asigure utilizarea integrală a volumului util și să permită o extracție continuă a materialului conținut (granular).

La golirea buncărelor și silozurilor pot apărea dificultăți care provin atît din comportarea materialelor granulare, cît și din construcția părții inferioare de evacuare.

La calculul silozurilor joacă un rol important unghiul de frecare pe perete. Se poate admite că unghiul de frecare pe perete este o fracțiune a unghiului de frecare internă φ (tabelul 3.5).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5

Natura materialului	Unghiul de frecare pe perete	
	la umplere	la golire
Material granular cu diametrul mediu al granulelor mai mare de 0,2 mm	0,75	0,60
Material pulverulent cu diametrul mediu al particulelor mai mic de 0,06 mm	1,0	1,0

Modul de golire (a buncărelor și silozurilor) este influențat în mod hotărîtor de dimensiunile orificiului de evacuare, după cum rezultă din fig. 3.23. Se deosebesc astfel golirea prin trombă (fig. 3.23, *a* și *b*) și golirea prin flux masic (fig. 3.23, *c*).

Pentru buncăre se recomandă ca factorul de îngustare E, exprimat prin raportul dintre secțiunea părții paralelipipedice (cilin-

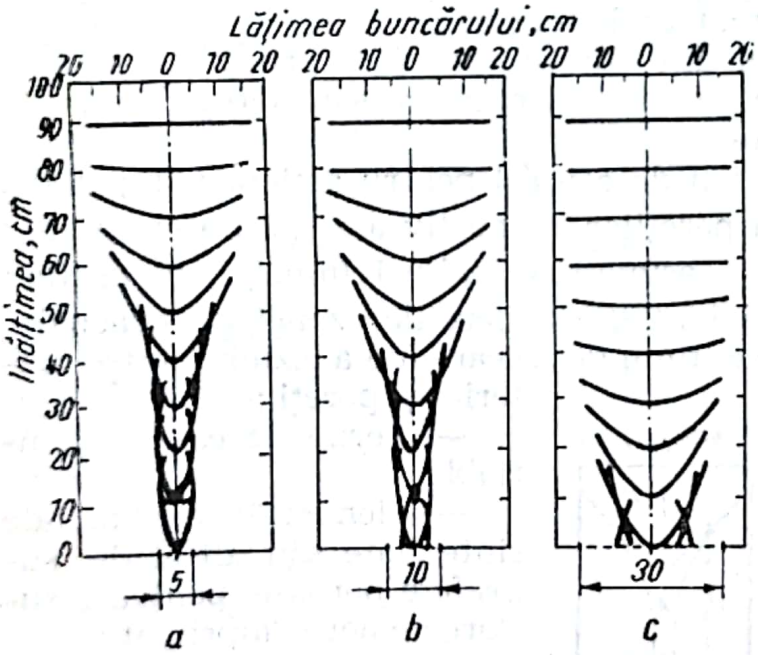


Fig. 3.23. Modul de golire a buncărelor sau silozurilor în funcție de dimensiunea orificiului de golire:
a, b — curgere în trombă; c — curgere prin flux masic.

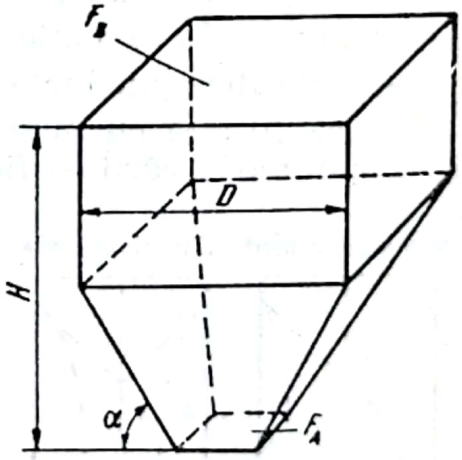


Fig. 3.24. Dimensiuni caracteristice ale unui buncăr:
H — înălțimea; D — dimensiune laterală; F_A — aria orificiului de golire; F_B — aria transversală a buncărului; α — înclinația flancului pîlniei de golire.

drice) F_B și secțiunea orificiului de evacuare F_A (fig. 3.24) să nu depășească 50.

$$E = \frac{F_B}{F_A} \leqslant 50$$

Pentru raportul J, dintre înălțimea totală H și dimensiunea laterală D se recomandă $J = H/D = 1 \ldots 1{,}5$.

Scurgerea materialului depinde, de asemenea, de granulozitatea sa, după cum rezultă din fig. 3.25. Activitatea buncărului a se definește astfel :

$$a = A/V = A/(A+P)$$

în care :

V este volumul total, în m^3 ;
A — zona activă, în m^3 ;
P — zona pasivă, în m^3.

În zona activă, deasupra orificiului de evacuare, are loc o afînare a materialului în timpul extragerii. În zona pasivă are loc o densificare a materialului, urmată de creșterea rezistenței de forfecare. Acest fapt poate duce, mai ales în cazul unui orificiu de evacuare prea mic, la formarea de bolți de material. În vederea evitării formării de bolți se pot lua următoarele măsuri :

a) Vibrarea materialului din buncăr sau siloz prin :
— vibratoare de perete cu oscilații regulate sau neregulate ;
— vibratoare suspendate ;
— amplasarea unor orificii de control pentru acționare manuală.

b) Forma de execuție a pereților, respectiv a zonei de evacuare :
— suprafețe înclinate — asimetrice, colțuri (muchii) rotunjite ;
— căptușirea cu material plastic a pereților zonei de evacuare, în scopul modificării coeficientului de frecare (de adeziune) între material și pereți ;
— perne de cauciuc umflabile ;
— elemente din metale sinterizate sau altfel de suprafețe poroase, pentru insuflare de aer comprimat ;
— duze pentru insuflare de aer comprimat.

c) Montarea de elemente mecanice :
— con care se ridică hidraulic sau pneumatic ;

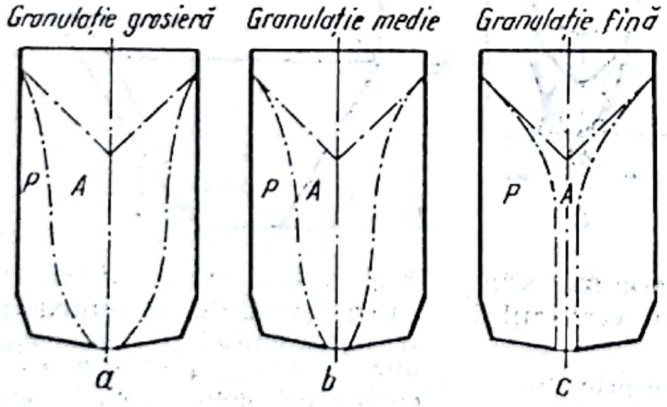


Fig. 3.25. Scurgerea materialului din buncăr (siloz) în funcție de granulozitatea lui

Scanned with OKEN Scanner

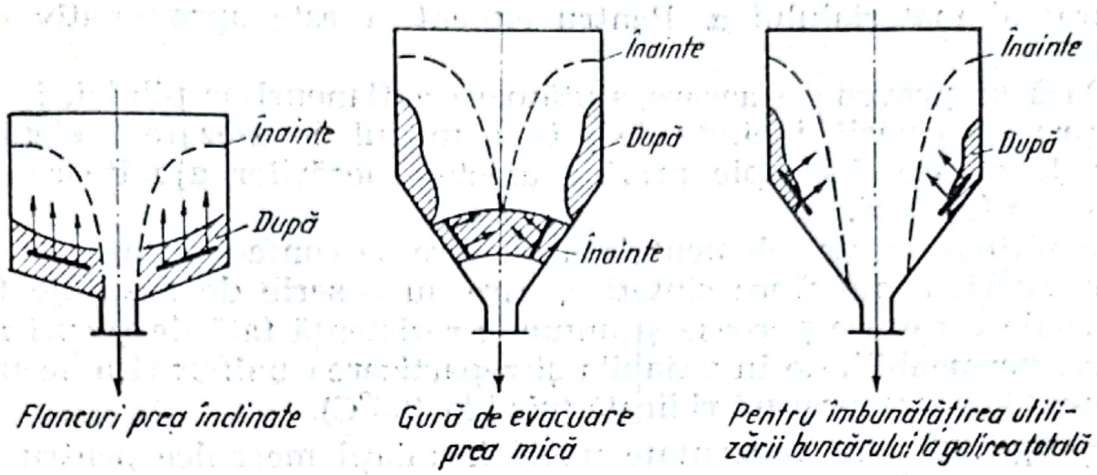


Fig. 3.26. Influența aerării pilniei de evacuare asupra golirii buncărelor (silozurilor)

— braț rotativ, respectiv amestecător ;
— lanțuri mobile.

O măsură importantă pentru îmbunătățirea scurgerii materialului o constituie alegerea corectă a formei pîlniei de evacuare. La buncărele neaerate, unghiul flancului (peretelui) pîlniei față de orizontală trebuie să fie cu cel puțin 5° mai mare decît unghiul de taluz

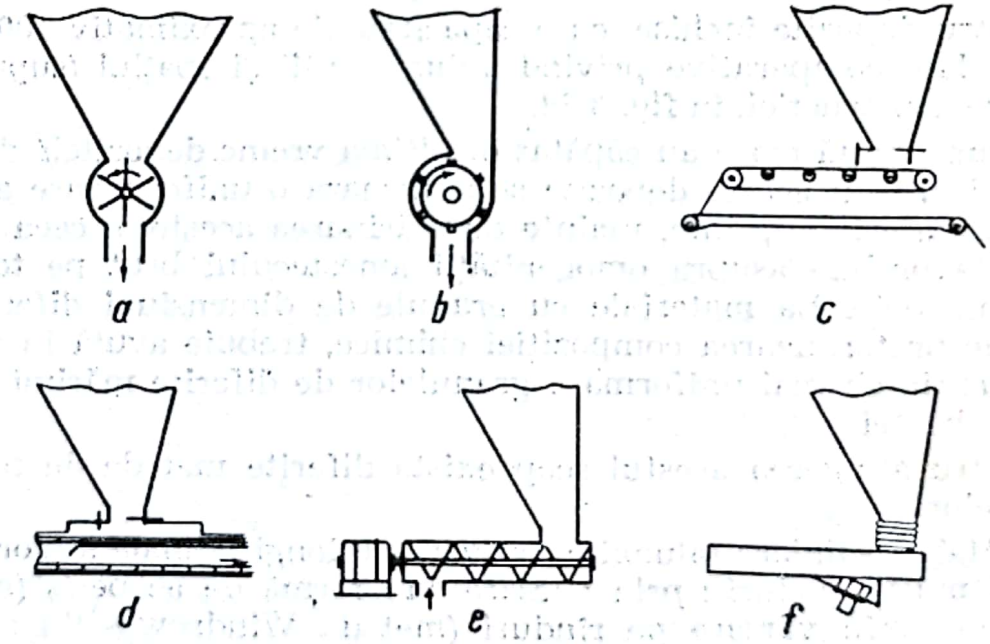


Fig. 3 27. Instalații mecanice pentru extragerea materialului din silozuri :
a și *b* — dispozitiv celular rotativ; *c* — bandă de transport; *d* — transportor cu plăci; *e* — transportor cu melc; *f* — transportor vibrator.

Scanned with OKEN Scanner

natural al materialului α. Pentru ciment, α este aproximativ egal cu 65°.

Dacă se prevede o aerare ajutătoare a flancurilor pîlniei, îmbunătățirea evacuării depinde de aria și modul de așezare a elementelor de aerare. Exemple privind efectele aerărilor ajutătoare sînt arătate în fig. 3.26.

În ultima vreme, elementele de aerare se confecționează din țesături speciale din fibre sintetice, care au o serie de avantaje față de plăcile ceramice poroase și anume : rezistență față de șocuri mecanice, permeabilitate invariabilă și repartizarea uniformă a aerului, rezistență la temperatură ridicată (pînă la 400°C).

În fig. 3.27 sînt prezentate unele instalații mecanice pentru extragerea materialelor pulverulente din buncăre și silozuri.

3.2.3. FORMAREA ȘI EXPLOATAREA HALELOR ȘI HALDELOR

În industria lianților, materiile prime, semifabricatele și produsele finite se depozitează în silozuri, hale, depozite conice acoperite (corturi — formă intermediară între siloz și hală) și depozite în aer liber.

Alegerea între o formă de depozitare sau alta depinde în primul rînd de capacitatea cerută, de spațiul disponibil, caracteristicile solului, și de proprietățile materialului granular.

Pentru depozite închise, cu o capacitate de aproximativ 100 000 t, se dau date comparative privind volumul util și spațiul (suprafața) necesară construcției, în fig. 3.28.

O importanță mare au căpătat în ultima vreme depozitele de preomogenizare. În aceste depozite se realizează o uniformizare a compoziției materiilor prime, înainte de măcinarea acestora, ceea ce are efecte favorabile asupra omogenității amestecului brut pe tot fluxul tehnologic. La materiale cu granule de dimensiuni diferite, în afară de uniformizarea compoziției chimice, trebuie avută în vedere și repartiția cît mai uniformă a granulelor de diferite mărimi în cuprinsul haldei.

Pentru atingerea acestui scop există diferite metode de formare a haldelor.

a) Haldele liniare (alungite) cu vărsare longitudinală se formează în mai multe moduri : prin vărsare sub formă de acoperiș (metoda Chevron), prin vărsare pe rînduri (metoda Windrow), din straturi orizontale sau din straturi înclinate.

Halda constituită prin vărsare sub formă de acoperiș (metoda Chevron) este prezentată în fig. 3.29.

Scanned with OKEN Scanner

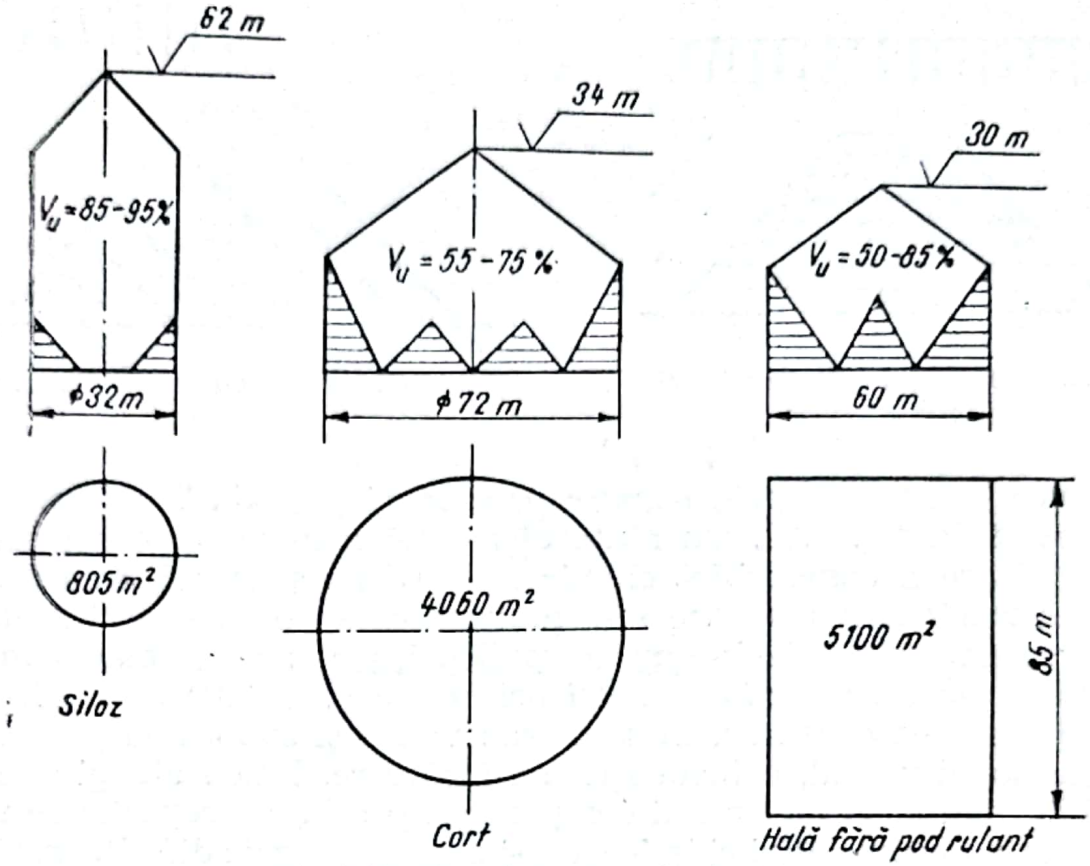


Fig. 3.28. Tipuri de depozite închise.

Prin vărsarea (depozitarea) unuia sau mai multor materiale granulare sub formă de acoperiș unul peste altul, se ajunge ca fiecare strat să fie vărsat uniform de-a lungul întregii halde și în orice secțiune transversală, compoziția materialului granular să fie aceeași. Deoarece există o singură poziție de vărsare (încărcare), depozitarea este relativ simplă (vezi săgeata din fig. 3.29). Dezavantajul acestui sistem îl constituie repartizarea neuniformă a claselor granulometrice ; granulele mari se rostogolesc în partea inferioară a haldei.

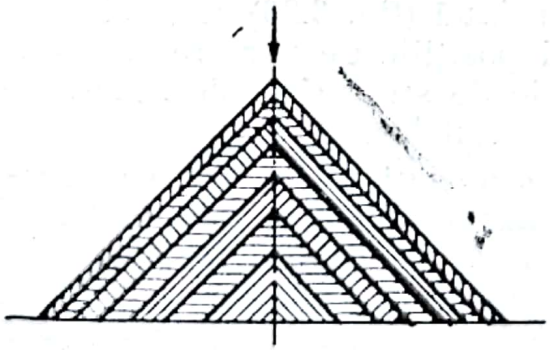


Fig. 3.29. Halde cu straturile sub formă de acoperiș.

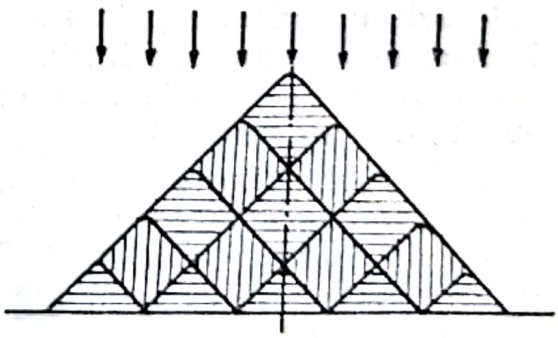


Fig. 3.30. Halde din rînduri orizontale.

Scanned with OKEN Scanner

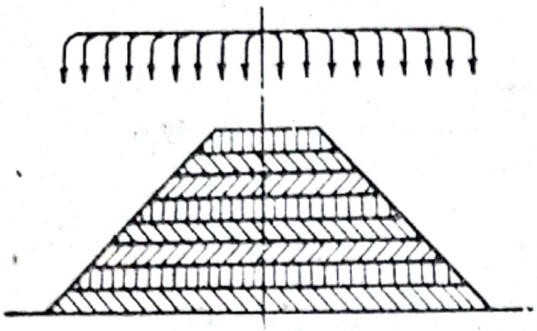


Fig. 3.31. Halde cu straturi orizontale.

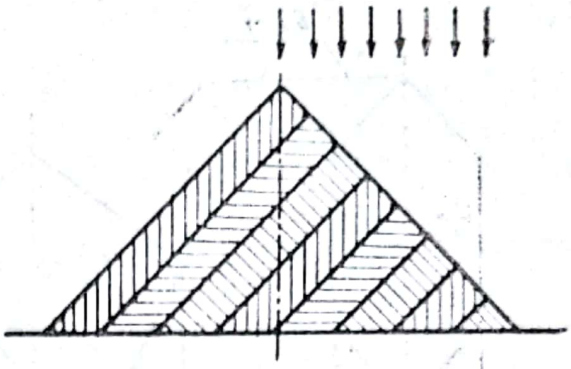


Fig. 3.32. Halde cu straturi înclinate.

Halda constituită prin vărsare pe rînduri (metoda Windrow) este prezentată în fig. 3.30. Cu ajutorul acestei metode se obține atît o uniformizare a compoziției chimice, cît și a repartiției granulometrice. Întrucît sînt necesare mai multe poziții de vărsare, instalația de vărsare a haldei devine mai complicată, iar operația mai scumpă.

Halda constituită din straturi orizontale (fig. 3.31) se realizează prin deplasarea continuă, în sens transversal și avansarea prin pași, în sens longitudinal, a instalației de încărcare. Halda alungită, constînd din unul sau mai mulți componenți, prezintă o repartizare uniformă atît a compoziției chimice, cît și a granulelor de diferite mărimi.

Halda constituită din straturi înclinate este prezentată în fig. 3.32. Secțiunea transversală a acestei halde este asemănătoare cu cea a haldei cu straturi orizontale, dar apare dezavantajul că granulele mari se separă la partea inferioară. Modul de formare a haldei este asemănător cu acela specific haldei cu rînduri paralele.

La toate haldele alungite, cu vărsare longitudinală, instalația de depozitare trebuie să se deplaseze continuu de-a lungul haldei, iar la halda din straturi orizontale, ea trebuie să aibe o mișcare pendulară.

b) Haldele lineare (alungite) cu vărsare frontală se pot constitui prin vărsarea simplă și alternativă a materialului.

Haldele constituite prin vărsare continuă (fig. 3.33) se realizează prin formarea unui con inițial *1*, apoi pozițiile de vărsare se mută treptat astfel încît să ia naștere o serie de straturi conice. Această metodă nu poate împiedica segregarea granulelor.

Haldele constituite prin vărsare alternativă (fig. 3.34) se formează în modul următor : la fiecare capăt al haldei se formează cîte un con de material, iar apoi se continuă, alternativ, formarea de straturi conice după cum rezultă din figură.

c) Haldele inelare se pot constitui din straturi sub formă de acoperiș (asemănător metodei Chevron — fig. 3.35), sau prin vărsare frontală.

Scanned with OKEN Scanner

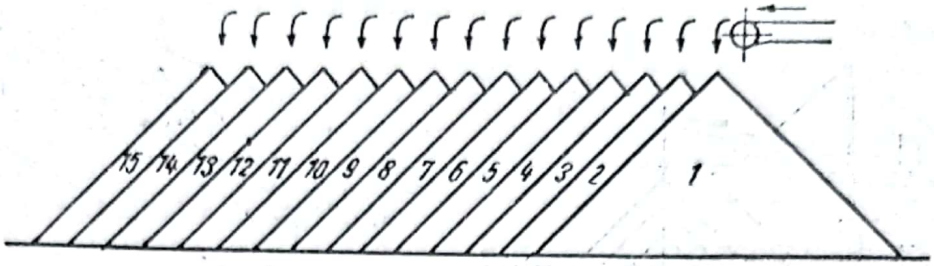


Fig. 3.33. Halde constituite prin vărsare continuă.

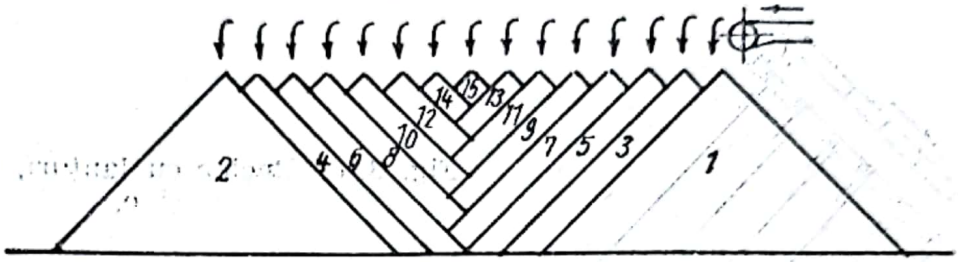


Fig. 3.34. Halde constituite prin vărsare alternativă.

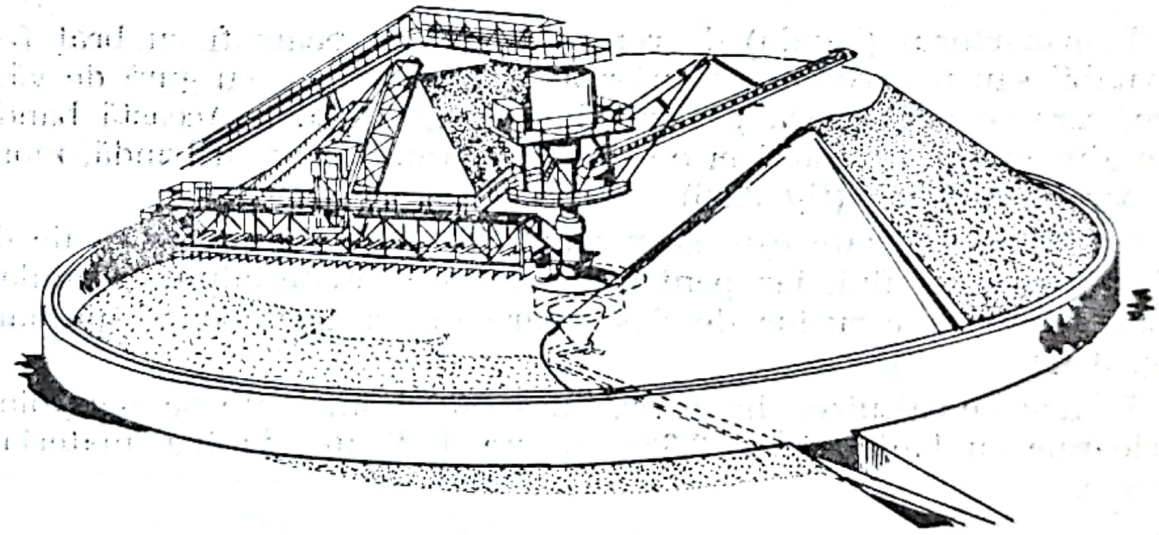


Fig. 3 35. Haldă inelară.

3.2.4. UTILAJE PENTRU FORMAREA HALDELOR

Alegerea instalațiilor pentru formarea haldelor depinde în primul rînd de proprietățile materialului granular (umiditate, granulozitate, aptitudine de curgere) și de locul de formare în hală sau în aer liber.

Pentru tipurile de halde descrise se folosesc cel mai des diferite combinații de transportoare cu bandă.

Scanned with OKEN Scanner

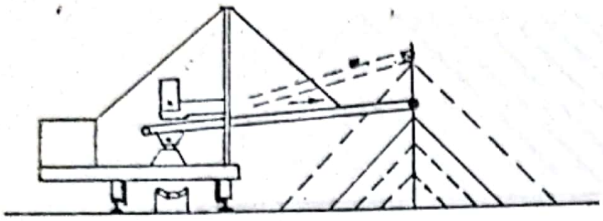


Fig. 3.36. Bandă de repartizare cu braț rabatabil.

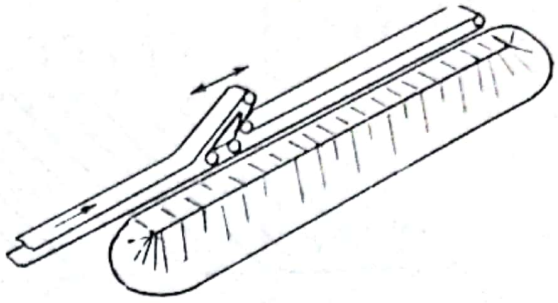


Fig. 3.37. Bandă cu cărucior de descărcare mobil.

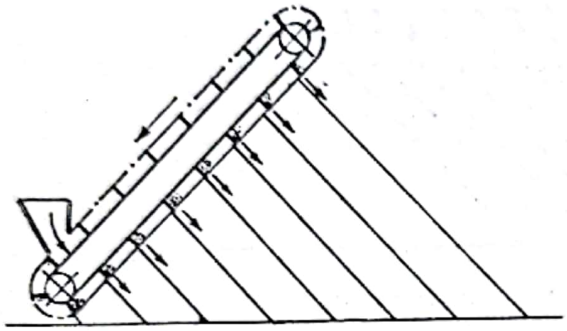


Fig. 3.38. Raclor cu lanțuri, mobile pe șine.

Transportorul (banda) de repartizare, care poate fi cu braț fix, rabatabil sau telescopic, este montat pe un cărucior cu gură de vărsare, care se deplasează pe șine de-a lungul haldei. Această bandă este alimentată la rîndul ei de către un transportor cu bandă, montat paralel cu șinele (fig. 3.36).

O altă posibilitate este suspendarea unei benzi longitudinale de grinzile acoperișului, iar pentru repartizarea materialului granular, instalarea unui cărucior de descărcare sau a unei benzi auxiliare (fig. 3.37).

Pentru constituirea haldelor, cu straturi înclinate se pot folosi racloarele cu lanțuri (fig. 3.38), foarte indicate pentru materiale umede.

3.2.5. EXTRAGEREA MATERIALULUI GRANULAR DIN HALDE

Indiferent de modul de constituire a haldelor, condiția pentru realizarea unei preomogenizări bune este extragerea materialului pe direcție perpendiculară direcției de vărsare. În acest mod se vor prelua concomitent un număr mare de straturi, iar proporția de material din diferite straturi rămîne constantă de-a lungul întregii halde.

Alegerea instalației de extracție depinde atît de tipul haldei, cît și de proprietățile materialului granular (abrazivitate, umiditate, granulozitate, conținut de praf etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Se deosebesc următoarele utilaje de extragere a materialului din halde :

— frontale : excavatoare cu roți cu cupă, excavatoare freză (braț cu roată cu cupe și raclor), încărcător tubular cu cupe, pod frontal pivotant ;

— laterale : racloare mobile cu lanțuri, încărcător tubular cu cupe ;

— utilaje de extragere de sub haldă sau buncăre : cărucioare de extragere.

Excavatoarele cu roți cu cupe asigură o bună amestecare pentru materialul din haldele cu vărsare longitudinală. Excavarea patului granular se face totdeauna frontal. În fig. 3.39 se arată modul de constituire și extragere cu excavator cu roți cu cupe, a unei halde de marnă de 35×150 m.

Racloarele mobile cu lanțuri pot fi de următoarele tipuri : raclor lateral, semiportal și portal (fig. 3.40, *a, b, c*).

Racloarele laterale sînt utilizate numai pentru excavarea laterală, în timp ce racloarele semiportal și portal pot fi utilizate atît pentru excavarea laterală, cît și pentru cea frontală. Racloarele laterale se recomandă pentru halde deschise, iar cele portal sau semiportal se montează de obicei numai în hale închise.

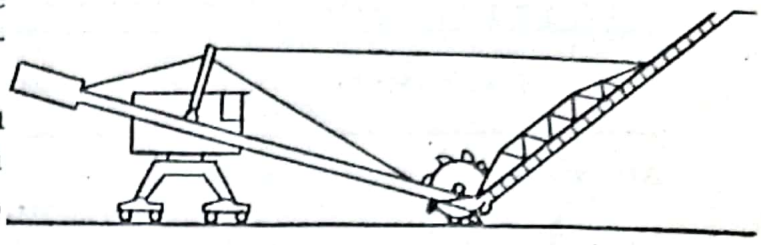


Fig. 3.39. Excavator cu roți cu cupe.

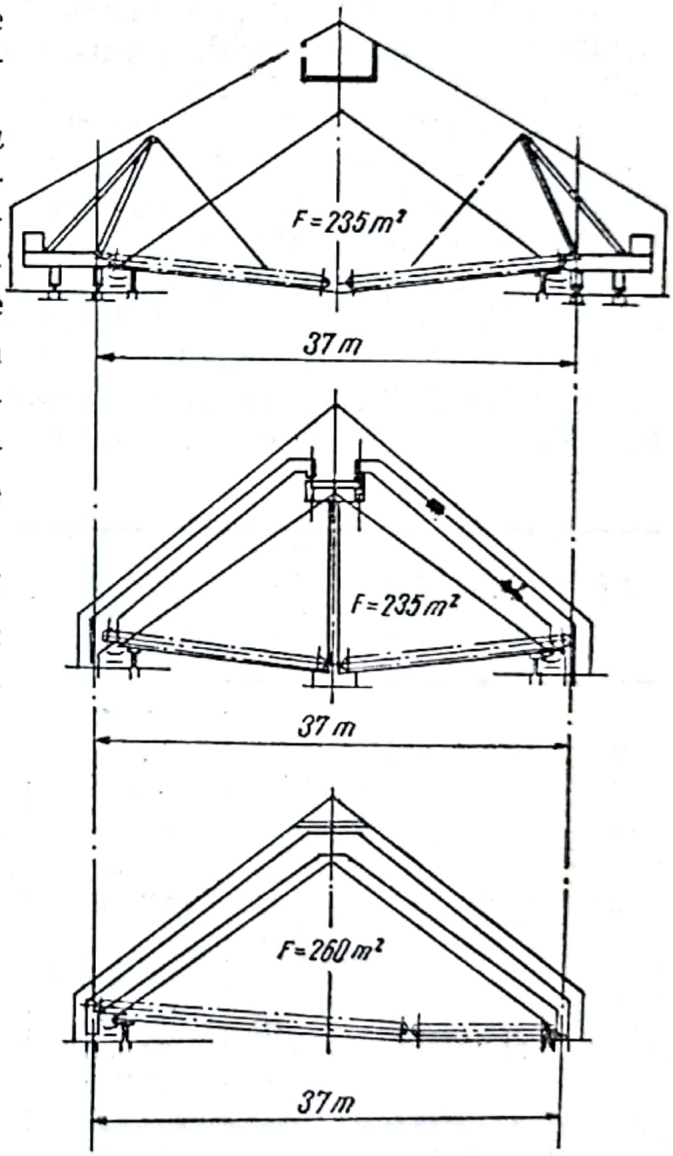


Fig. 3.40. Tipuri de racloare mobile cu lanțuri :
a — lateral; *b* — semiportal; *c* — portal

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.6

Tipul raclorului	Portal	Semiportal	Lateral
Aria secțiunii transversale a haldei, m^2	260	235	235
Spațiu construit/volum util	1,9	2,1	2,9
Costul instalației, %	100	130	125
Costul halei și al instalației de transport, %	100	130	140

În tabelul 3.6 sînt prezentate date comparative pentru cele trei tipuri de racloare, considerîndu-se o hală de materiale granulare cu distanța între șine de 37 m.

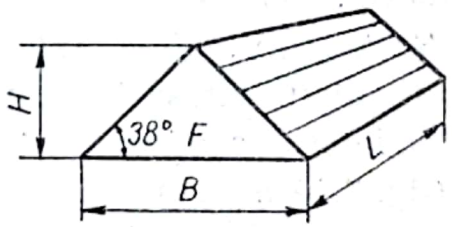
La raclorul portal, aproximativ 80—90% din volumul depozitului este deservit de lanțul principal, iar restul de cel secundar. Distribuirea în două lanțuri de raclare duce la scăderea consumului de energie cu aproximativ 25%.

Racloarele portal sînt de obicei complet automatizate. Lățimea depozitului deservit poate fi de 25—56 m. Debitul de golire este cuprins între 150 și 1 200 m^3/h.

În tabelul 3.7 se prezintă caracteristicile dimensionale ale unor depozite deservite de racloare portal.

Tabelul 3.7

Lățime B (m)	Înălțime H (m)	Secțiune F (m^2)	Lungime L (m)	Volum V (m^3)
25	10,8	131	50 100 200	6 550 13 100 26 200
30	12,7	178	50 100 200	8 900 17 800 35 600
35	14,7	246	50 100 200	12 300 24 600 49 200
40	16,7	312	50 100 200	15 600 31 200 62 400



B	H	F	L	V
45	18,6	397	50 100 200	19 850 39 700 79 400
50	20,5	488	50 100 200	24 400 48 800 97 600
55	22,5	590	50 100 200	29 500 59 000 118 000

Scanned with OKEN Scanner

4. MĂRUNȚIREA ȘI CLASIFICAREA MATERIALELOR

Dimensiunile și granulozitatea materialelor solide fragmentate, denumite materiale granulare, au o influență hotărîtoare asupra comportării lor în procesele tehnologice din industria lianților.

Materiile prime extrase din carieră trebuie să fie mărunțite pînă la asemenea dimensiuni ale granulelor, care să permită desfășurarea proceselor următoare ale fluxului tehnologic — clasare, amestecare, omogenizare, uscare, precum și transformările (fizice și) chimice la temperaturi ridicate, în condiții optime.

4.1. MAȘINI ȘI PROCEDEE DE MĂRUNȚIRE

4.1.1. CLASIFICAREA MAȘINILOR DE MĂRUNȚIRE

Numărul mare de tipuri de mașini de mărunțire face dificilă clasificarea lor pe o bază unitară. Ele pot fi clasificate după mai multe criterii și anume :

— domeniul de mărunțire ;
— natura procedeului tehnologic ;
— principiul de funcționare.

În funcție de *domeniul de mărunțire* se deosebesc :

— mașini pentru mărunțirea preliminară (concasoare) ;
— mașini pentru mărunțirea fină (mori).

După *natura procedeului tehnologic* mașinile de mărunțire se împart în :

— mașini în circuit deschis, cu trecere simplă a materialului (fig. 4.1, *a*) ;

— mașini în circuit închis (fig. 4.1, *b*) la care utilajul de mărunțire este urmat de un aparat de clasare, care separă materialul mărunțit în două fracțiuni : grosierul (refuzul) este reintrodus în utilajul de mărunțire, iar finul (trecerea) urmează mai departe fluxul tehnologic.

Scanned with OKEN Scanner

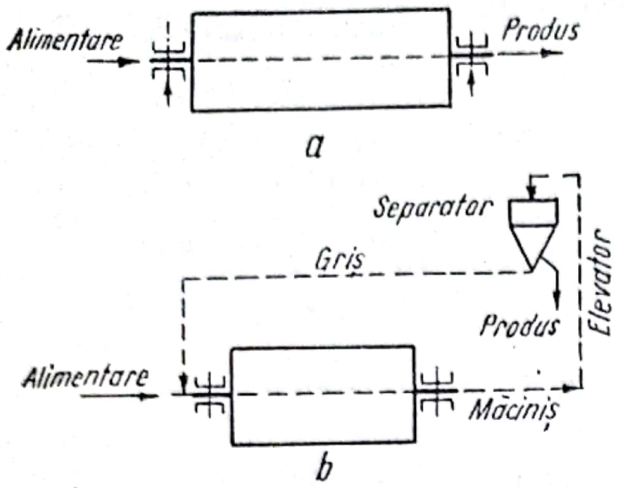


Fig. 4.1. Procedee de mărunțire :
a — continuu, în circuit deschis; *b* — continuu, în circuit închis.

Mărunțirea se poate face în ambele cazuri umed sau uscat.

După *principiul de funcționare* mașinile de mărunțire se pot împărți în două grupe mari :

— mașini cu acțiune principală de strivire ;

— mașini cu acțiune principală de lovire.

În ambele cazuri, acțiunii principale i se suprapune acțiunea de frecare.

Din categoria mașinilor cu acțiune principală de strivire fac parte :

— concasoarele cu flăci, concasoarele cu con, concasoarele și morile cu cilindri (valțuri) ;

— granulatoare și mori cu corpuri rostogolitoare : colerganguri (mori chiliene), mori cu disc orizontal și valțuri, mori cu inel orizontal și bile.

Din categoria mașinilor cu acțiune principală de lovire fac parte :

— concasoarele și morile cu ciocane ;

— concasoarele și morile cu impact (izbire) ;

— morile cu tambur rotativ cu corpuri de măcinare libere (mori cu bile, mori tubulare, mori combinate) ;

— morile vibratoare.

În cadrul lucrării prezente, mașinile de mărunțire se vor clasifica după domeniul de mărunțire, pentru urmărirea mai ușoară a fluxului tehnologic.

4.1.2. GRADUL DE MĂRUNȚIRE

Scopul oricărei operații de mărunțire este reducerea dimensiunilor geometrice ale bucăților (particulelor) din care este alcătuit amestecul poligranular.

Scanned with OKEN Scanner

Fiecare utilaj de mărunțire este capabil să reducă cu un anumit grad mărimea particulelor, acest parametru denumindu-se grad de mărunțire.

Gradul de mărunțire i este raportul dintre dimensiunea liniară maximă a materialului supus mărunțirii D_{max} și dimensiunea liniară maximă a materialului rezultat în urma mărunțirii d_{max}. El se exprimă prin relația :

$$i = \frac{D_{max}}{d_{max}}.$$

De exemplu dacă dimensiunea liniară maximă a materialului introdus în concasor este $D_{max} = 1\,000$ mm și cea a materialului concasat $d_{max} = 50$ mm, gradul de mărunțire rezultat : $i = 1\,000 : 50 = 20$.

Concasoarele utilizate în industria lianților lucrează cu un grad de mărunțire $i = 5 \ldots 15$.

În afara definiției prezentate mai înainte, gradul de mărunțire mai poate fi exprimat prin relația :

$$i = \frac{D_{80}}{d_{80}}.$$

în care D reprezintă dimensiunea ochiului ciurului prin care trece 80% din materialul alimentat, iar d_{80} — dimensiunea pentru care trecerea materialului mărunțit este de 80%.

4.1.3. MAȘINI PENTRU MĂRUNȚIREA PRELIMINARĂ

4.1.3.1. Mașini cu acțiune principală de strivire. Concasoare cu fălci. Concasoarele cu fălci sfărîmă bucățile de material prin strivire între două plăci metalice, dintre care una este fixă (falca fixă), iar cealaltă oscilantă (falca mobilă).

După natura mișcării fălcii mobile, concasoarele cu fălci se împart în :

— *concasoare cu mișcare simplă a fălcii mobile,* care oscilează în jurul unui ax fix, amplasat fie în partea superioară (fig. 4.2, *a*) — concasor Blake, fie în partea inferioară a fălcii mobile (fig. 4.2, *c*), mișcarea transmițîndu-se acesteia de la un arbore excentric, prin intermediul unei biele ;

— concasoare cu mișcare complexă a fălcii mobile (fig. 4.2, *b*), care este articulată la capătul superior, la excentricul arborelui de acționare.

Concasoarele cele mai utilizate sînt cele cu mișcarea simplă a fălcii mobile și suspendare superioară (fig. 4.3). Ele se folosesc cel

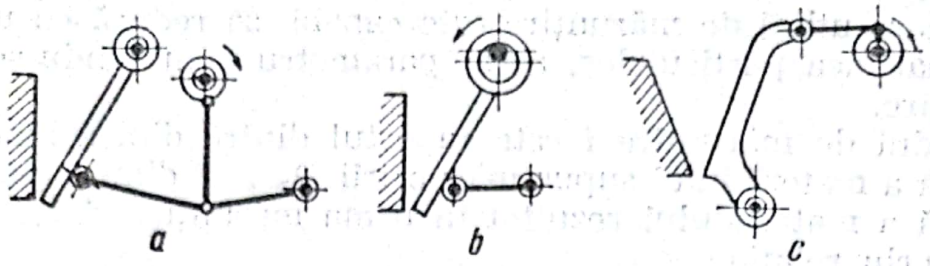


Fig. 4.2. Scheme de principiu ale unor concasoare cu fălci :
a — cu mișcare oscilatorie simplă a fălcii mobile; *b* — cu mișcare complexă a fălcii mobile; *c* — cu punct de suspendare inferior

mai des pentru mărunțirea preliminară a materialelor cu duritate mare sau medie.

Fălcile sînt căptușite cu plăci din oțel manganos (12—14% mangan) dur. Pentru intensificarea efortului de forfecare în material se utilizează blindaje canelate. Batiul mașinii este turnat din una sau mai multe bucăți.

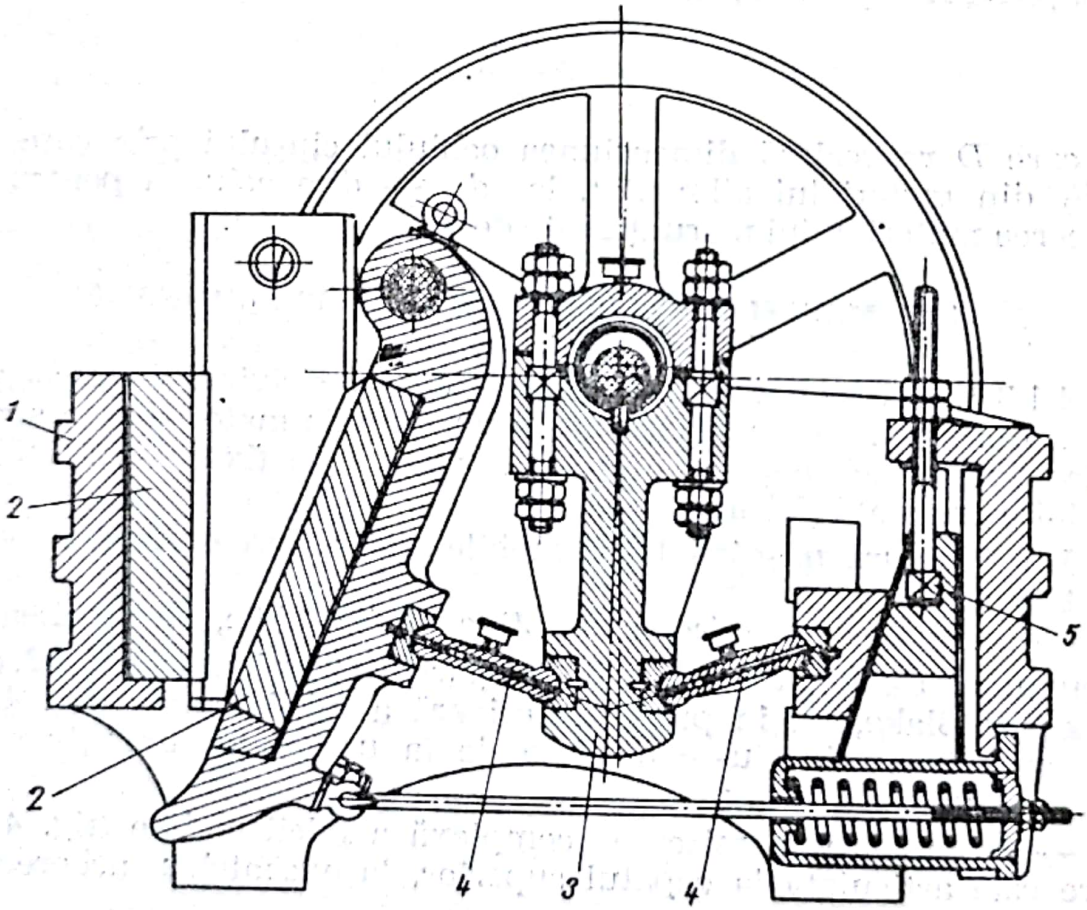


Fig. 4.3. Concasor cu fălci cu mișcare simplă a fălcii mobile :
1 — batiu; *2* — plăci de strivire; *3* — bielă; *4* — plăci de distanțare; *5* — șurub de reglare.

Scanned with OKEN Scanner

În tabelul 4.1 sînt prezentate caracteristicile unor concasoare cu fălci cu mișcare simplă a fălcii mobile.

Tabelul 4.1

Caracteristici	UM	Valori				
Dimensiunile gurii de alimentare	mm	650×1 000	900×1 200	1 200×1 500	1 400×1 800	1 520×2 140
Dimensiunile fantei de evacuare	mm	140×1 000	200×1 200	250×1 500	300×1 800	350×2 140
Debit (calcar, 1 200 daN/cm²)	t/h	140	240	360	500	800
Puterea motorului	kW	70	2×100	2×105	2×130	2×140
Masa concasorului	t	37	70	130	200	260

Concasoarele cu mișcare complexă a fălcii mobile sînt folosite la concasarea primară și secundară numai în cazul rocilor a căror abrazivitate este redusă, pentru a nu necesita o înlocuire frecventă a blindajului fălcilor. Masa acestor concasoare este cu circa 40% mai mică decît cea a concasoarelor cu mișcare simplă a fălcii.

Capacitatea de producție a concasoarelor poate fi determinată cu formula:

$$Q = 150 \cdot n \cdot b \cdot s \cdot d \cdot \mu \rho \quad [t/h]$$

în care:

n este numărul de oscilații complete ale fălcilor mobile pe minut;
b — lățimea fălcii mobile, în m;
s — amplitudinea oscilației fălcii mobile, în m;
d — dimensiunea medie a materialului sfărîmat, în m;
μ — gradul de umplere al canalului la ieșirea din fanta de evacuare ($\mu = 0{,}25 \ldots 0{,}5$);
ρ — densitatea materialului, în t/m³.

Avantajele concasoarelor cu fălci sînt: construcție simplă, robustă, ieftină, siguranță în funcționare, înălțime constructivă redusă, întreținere ușoară.

Dezavantajele concasoarelor cu fălci provin din funcționarea discontinuă provocată de mișcările alternative ale fălcii mobile. Aceasta duce la limitarea debitului ce poate fi concasat și la trepidații puternice în timpul funcționării, care reclamă fundații masive.

Scanned with OKEN Scanner

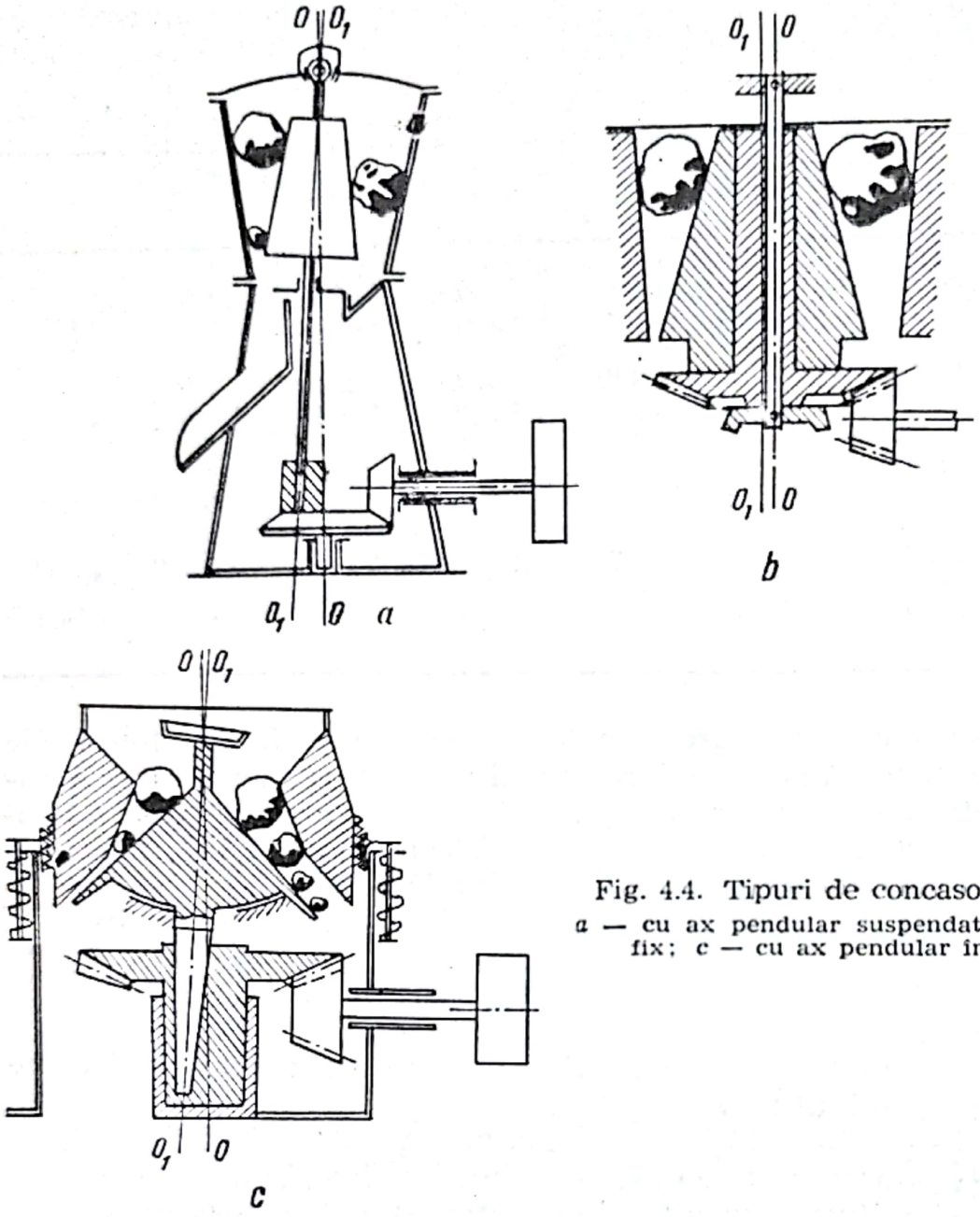


Fig. 4.4. Tipuri de concasoare conice : *a* — cu ax pendular suspendat; *b* — cu ax fix; *c* — cu ax pendular în consolă.

Concasoare cu con (giratorii). Concasoarele cu con mărunțesc materialul datorită apăsării, însoțită de forfecare, a unui trunchi de con care se rotește excentric într-un alt trunchi de con gol. Suprafețele active ale celor două conuri pot fi netede sau striate. Ele se utilizează în aceleași domenii de mărunțire ca și concasoarele cu fălci.

Principalele tipuri de concasoare conice sînt următoarele :

— *concasoare cu ax pendular suspendat* (fig. 4.4, *a*) — au o construcție foarte robustă, putînd mărunți blocuri mari de material ; ele sînt utilizate în general pentru concasarea grosieră și pot atinge capacități de producție de 1 000 t/h ;

Scanned with OKEN Scanner

— *concasoare cu ax fix* (fig. 4.4, *b*), de construcție mai joasă decît cele precedente, se utilizează pentru concasarea grosieră și medie ;

— *concasoare cu ax în consolă* (fig. 4.4, *c*) se mai numesc și concasoare Symons.

Concasoarele din primele două categorii au vîrfurile celor două conuri îndreptate în sens invers, iar unghiul de la baza conului mobil este mai mare (peste 70°). La concasoarele Symons, vîrfurile celor două conuri sînt îndreptate în sus, iar unghiul de la baza conului este relativ mic (sub 45°).

Prin prelungirea în jos a fantei de evacuare se formează o zonă paralelă, ceea ce face să se obțină bucăți de dimensiuni mai uniforme : în acest caz concasorul capătă denumirea de granulator.

În comparație cu concasoarele cu flăci, concasoarele cu con prezintă următoarele avantaje :

— consum specific de energie mai redus, debite mari și funcționare mai uniformă, lipsind cursa în gol a concasoarelor cu fălci ;

— posibilitate de alimentare din orice direcție.

Dezavantajele concasoarelor conice sînt :

— lățimea relativ mică a gurii de alimentare de formă inelară ;

— construcție complicată și de mare înălțime.

În tabelul 4.2 sînt date caracteristicile unor concasoare conice pentru concasare grosieră.

Tabelul 4.2

Deschiderea de alimentare, mm	Deschiderea de evacuare, mm	Debitul, t/h	Puterea motorului, kW	Masa, t
500	90—130	135—245	60—90	45
900	125—170	330—560	170—210	140
1 200	180	900	260—280	223
1 500	220	1 400—2 100	400	500

Concasoare cu cilindri (valțuri). Concasorul cu valțuri se compune în majoritatea cazurilor din două valțuri cilindrice, dispuse paralel, care se rotesc în sensuri opuse în jurul axelor lor orizontale. Bucata de material este prinsă de valțuri în spațiul dintre ele și supusă mărunțirii prin zdrobire și parțial prin frecare.

Pe lîngă concasoarele cu două valțuri se mai întrebuințează rar, concasoare cu un singur valț sau cu 4 valțuri (fig. 4.5).

Valțul propriu-zis poate fi neted, dințat, canelat sau cu came.

Concasoarele cu valțuri dințate sau canelate sînt folosite la concasarea de marne sau alte materiale umede și lipicioase. Ele se exe-

Scanned with OKEN Scanner

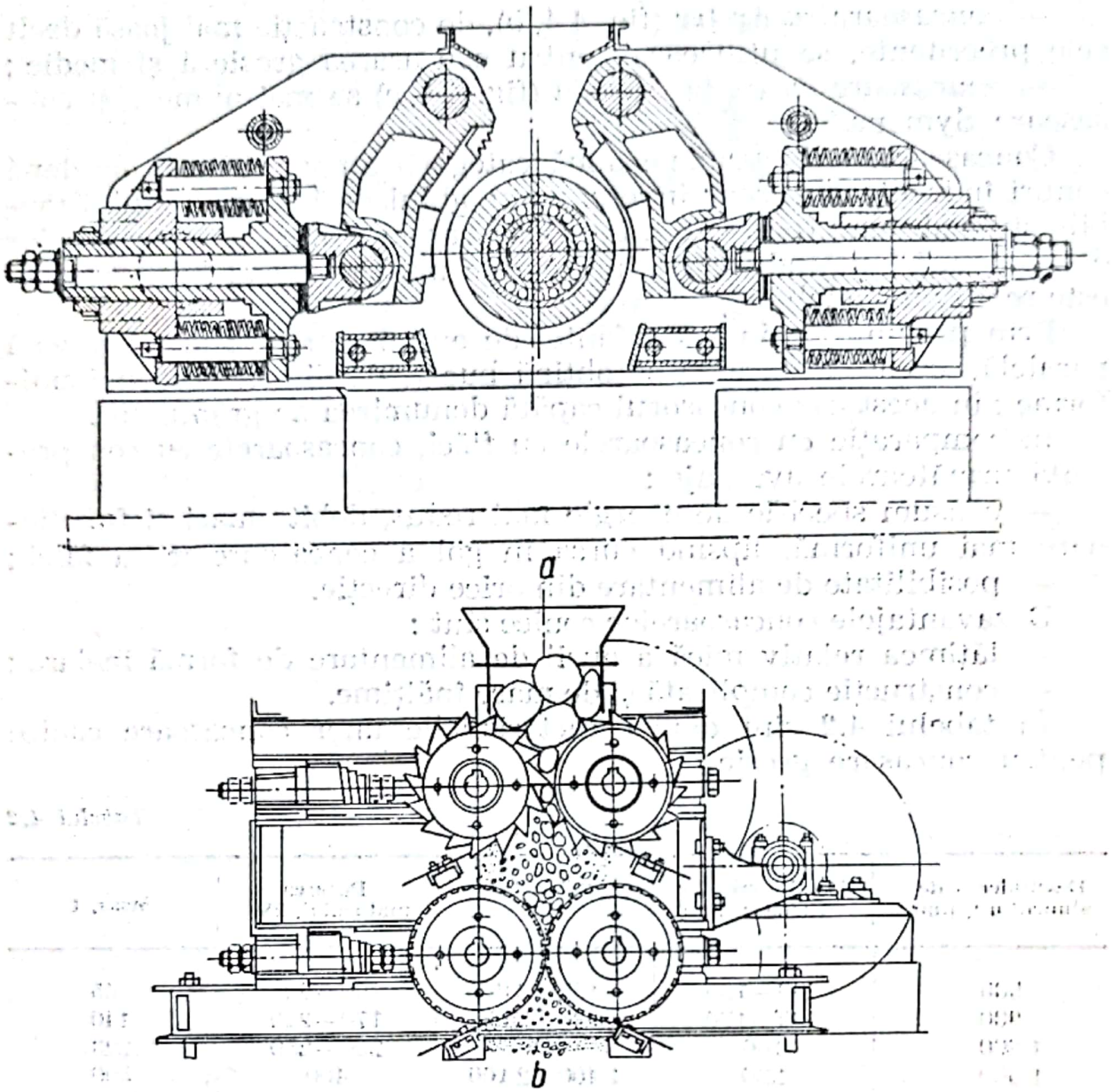


Fig. 4.5. Tipuri constructive de concasoare cu valțuri :
a — cu un valț; *b* — cu 4 valțuri cu mărunțire în două trepte.

cută cu diametrul valțurilor pînă la 2 000 mm și pot apuca blocuri de rocă de dimensiuni pînă la 1 500 mm pe care le mărunțesc la mărimea de aproximativ 250 mm.

4.1.3.2. **Mașini cu acțiune principală de lovire. Concasoare cu ciocane articulate.** Aceste concasoare (fig. 4.6) acționează în principal prin lovire și în mică măsură prin frecare. Ele sînt formate dintr-o carcasă *1* căptușită cu plăci din oțel dur și două rotoare *2* pe care sînt fixate mai multe rînduri de ciocane. Mașina este prevăzută cu o cameră de alimentare construită din bare *3*, iar ciocanele *4* au po-

Scanned with OKEN Scanner

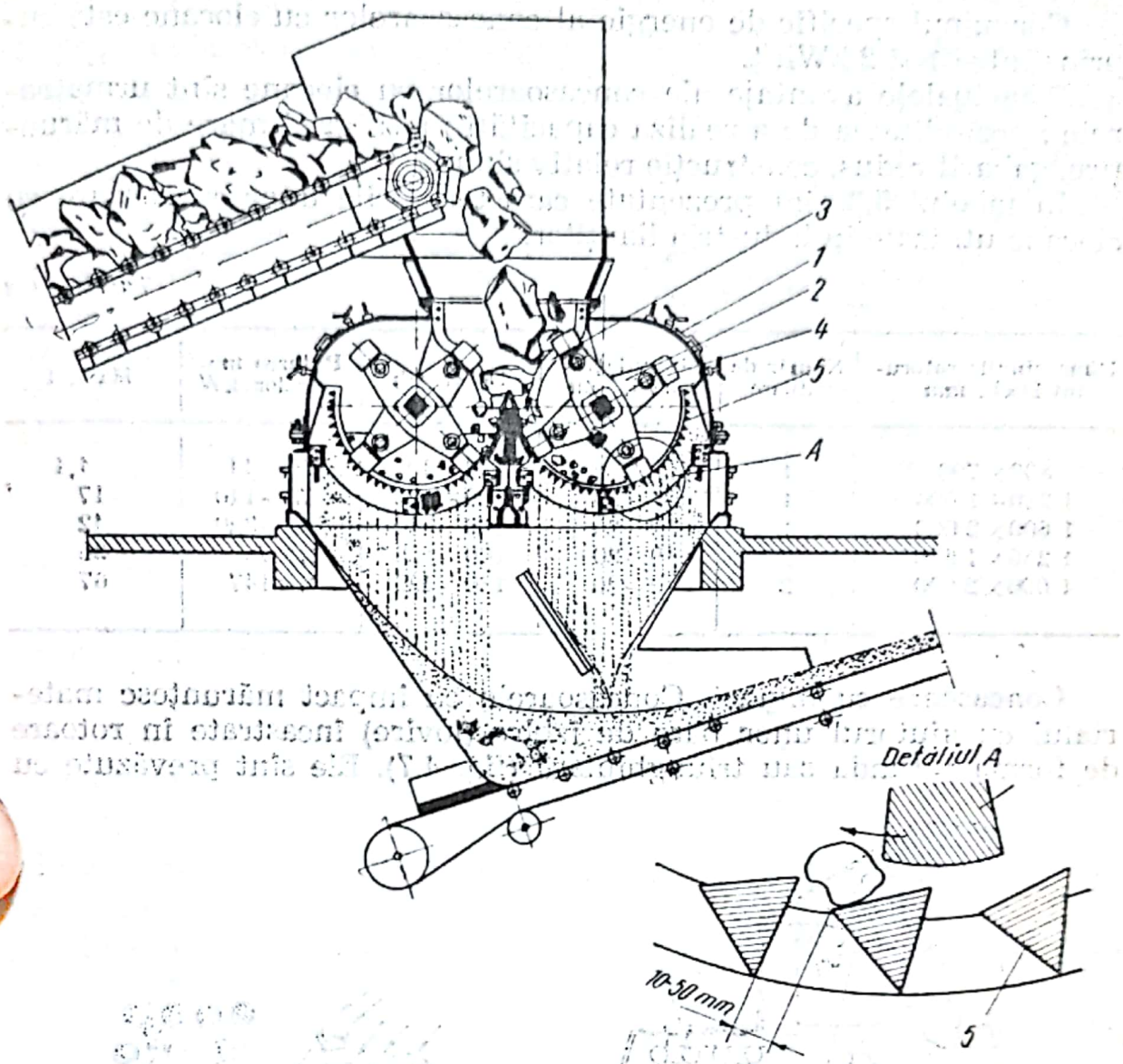


Fig. 4.6. Concasor cu ciocane articulate :
1 — carcasă; *2* — rotor; *3* — grătar din bare liră; *4* — ciocan; *5* — grătar inferior.

sibilitatea de a pătrunde în spațiul dintre două bare lovind materialul. Bucățile de material care au ajuns la dimensiuni mai mici decît spațiul dintre două bare, intră în spațiul rotoarelor unde se află în continuare sub acțiunea loviturilor ciocanelor. Materialul ajunge pe grătarul *5*, format din bare triunghiulare, unde primește noi lovituri pînă cînd se sfărîmă la dimensiuni care îi permit să se evacueze prin grătar.

Viteza periferică a ciocanelor este cuprinsă între 15 și 30 m/s. Diametrul cercului de rotație este de 800—2 900 mm. Numărul ciocanelor variază de la 6—40, iar greutatea unui ciocan între 24 și 160 kg.

Scanned with OKEN Scanner

Consumul specific de energie al concasoarelor cu ciocane este cuprins între 1 și 2 kWh/t.

Principalele avantaje ale concasoarelor cu ciocane sînt următoarele : posibilitatea de a realiza capacități mari, grad mare de mărunțire, gabarit redus, construcție relativ simplă.

În tabelul 5.3 sînt prezentate caracteristicile unor concasoare cu ciocane utilizate în industria lianților.

Tabelul 4.3

Dimensiunile rotorului D×L, mm	Număr de rotoare	Granulația finală, mm	Debit, t/h	Puterea motoarelor kW	Masă, t
800×700	1	0—25	20—30	30÷44	4,4
1 250+1 000	1	0—25	80—120	73—140	17
1 600×2 000	1	0—25	210—280	220—320	42
1 250×1 600	2	0—20	100—125	2×75	30
1 000×2 000	2	0—20	180—220	2×147	67

Concasoare cu impact. Concasoarele cu impact mărunțesc materialul cu ajutorul unor bare de izbire (lovire) încastrate în rotoare de formă rotundă sau triunghiulară (fig. 4.7). Ele sînt prevăzute cu

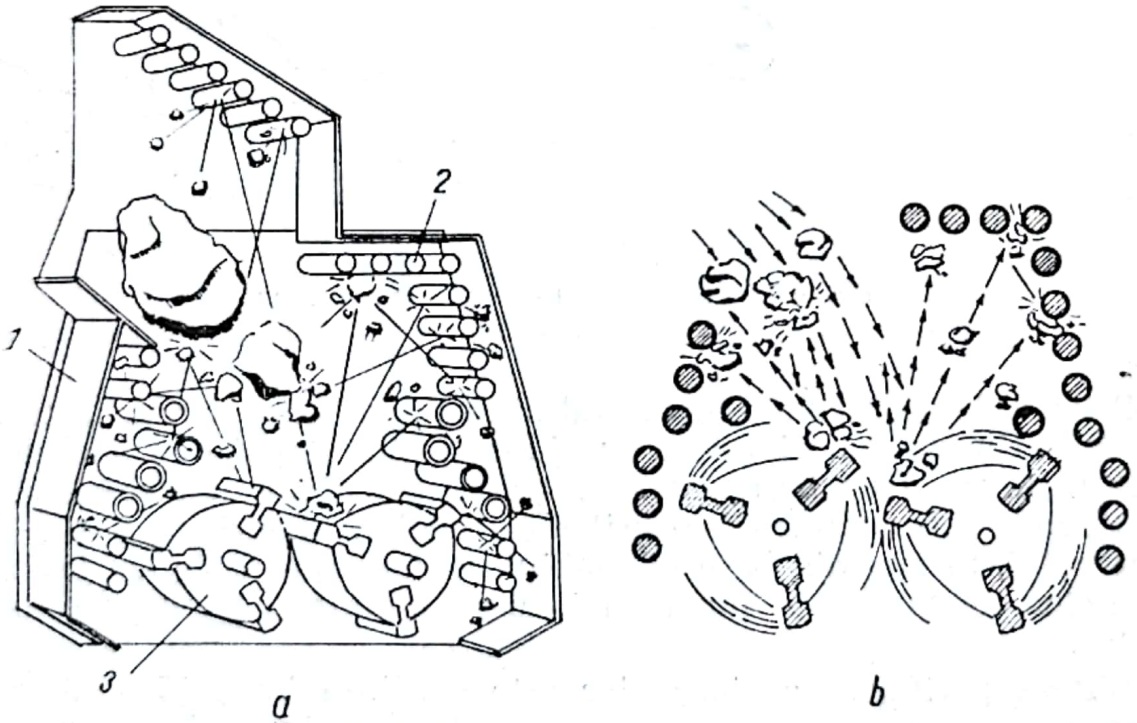


Fig. 4.7. Concasor cu impact :

a — elemente constructive : *1* — carcasă; *2* — bare de izbire fixe; *3* — rotor; *4* — bare de izbire mobile; *b* — schema mărunțirii autogene.

Scanned with OKEN Scanner

o cameră relativ înaltă deasupra rotoarelor, ecranată cu bare sau plăci de izbire. Mărunțirea are loc prin ciocnirea bucăților de material de rotoarele mașinii. Bucățile sparte sînt azvîrlite în diferite direcții prin cameră, lovindu-se de barele sau de plăcile de izbire sau între ele (mărunțire autogenă). Consumul specific de energie este întrucîtva mai mic decît acela al concasoarelor cu ciocane. Viteza periferică a rotoarelor este cuprinsă în general între 35 și 80 m/s.

În fig. 4.8 se prezintă un concasor cu impact cu uscarea simultană a materialului (avînd sub 20% apă), consumul de căldură fiind de aproximativ 4 000 kJ/kg apă.

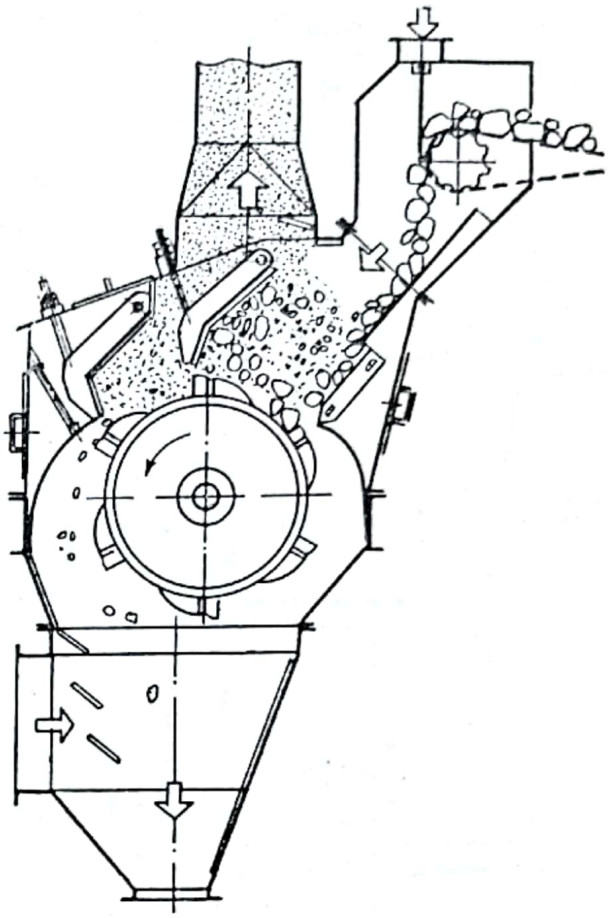


Fig. 4 8. Concasor cu impact, cu uscarea simultană a materialului.

În tabelul 4.4 sînt prezentate caracteristicile principale ale unor concasoare cu impact.

Tabelul 4.4

Dimensiunile rotorului, *D/L*, mm	Număr de rotoare	Granulația inițială/finală, mm	Debit mediu, t/h	Puterea motorului, kW	Masa, t
1 400×1 000	1	⩽300/0—15	120	80	—
885×530	2	⩽400/0—10	15—20	2×20	1,2

4.1.4. MAȘINI PENTRU MĂRUNȚIREA FINĂ

4.1.4.1. Mașini cu acțiune principală de strivire. Mori cu disc orizontal și valțuri. Morile cu disc orizontal și valțuri servesc la măcinarea fină a materialelor avînd duritatea mai mică decît 4 după scara Mohs (calcar, marnă, cărbune etc.). În timpul măcinării se

Scanned with OKEN Scanner

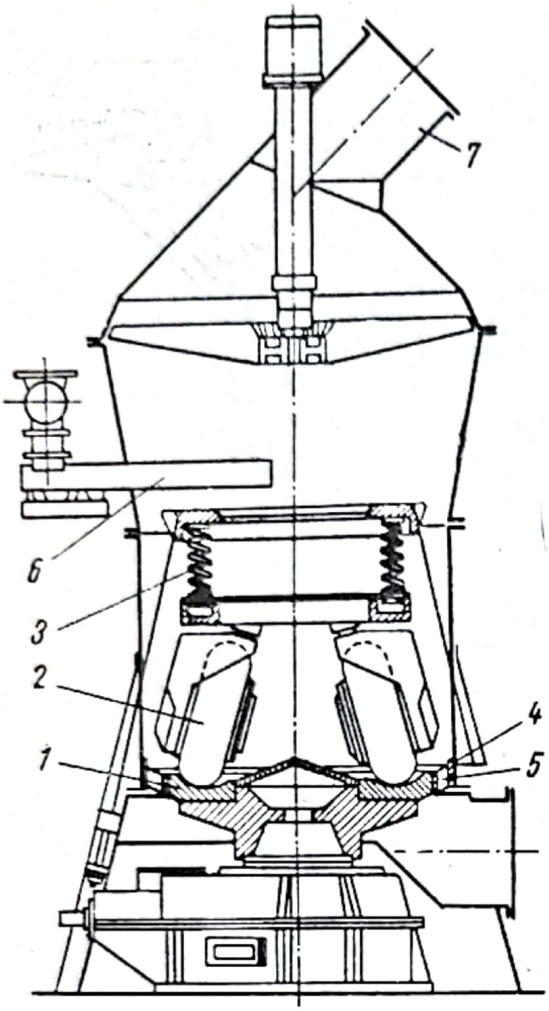


Fig. 4.9. Moară cu disc orizontal și valțuri :
1 — disc rotativ; *2* — role (și valțuri); *3* — arcuri; *4* — inel marginal; *5* — canal inelar pentru aer; *6* — alimentare cu material; *7* — conductă de evacuare a materialului mărunțit.

poate realiza și uscarea materialelor umede, avînd 12—15% apă, pînă la o umiditate finală de 1%.

Moara se compune în principal din organele de măcinare și un separator mecano-pneumatic, totul fiind așezat într-o carcasă etanșă (fig. 4.9).

Materialul de mărunțit, introdus în moară prin intermediul unui dozator, cade pe discul rotativ și este aruncat sub valțuri datorită forței centrifuge. La ieșirea de sub valț, materialul mărunțit deversează peste inelul de reținere într-un canal inelar, unde întîlnește un curent ascendent de gaz, avînd viteza de 15—30 m/s, care îl transportă pînă la separator. Tipurile constructive moderne au o viteză a curentului de gaz de 5—7 m/s, care transportă numai particulele fine. Particulele grosiere cad într-un elevator cu cupe care le reintroduce în circuitul de măcinare. În felul acesta rezultă o reducere însemnată a consumului specific de energie.

Finețea de măcinare se reglează prin modificarea debitului de gaz, precum și prin modificarea vitezei separatorului rotativ.

Mori cu inele orizontale și bile. Aceste mori se aseamănă cu un rulment axial cu bile (fig. 4.10) în care bilele sînt dispuse pe unul sau mai multe rînduri. Morile cu inel orizontal și bile se utilizează în aceleași domenii ca și morile cu disc orizontal și valțuri.

Inelul superior fix este apăsat pe bilele care se află între cele două inele, cu ajutorul unor arcuri sau al unor dispozitive hidraulice.

Bilele forjate au diametrul de 190—300 mm la morile de construcție mai veche și de 500—700 mm (turnate, goale în interior) la morile moderne. Bilele cu diametru mare au rezistență la rostogolire mai mică, ceea ce duce la un consum de energie mai redus și uzură relativă mai scăzută, astfel încît performanțele morii sînt mai puțin afectate din cauza uzurii.

Scanned with OKEN Scanner

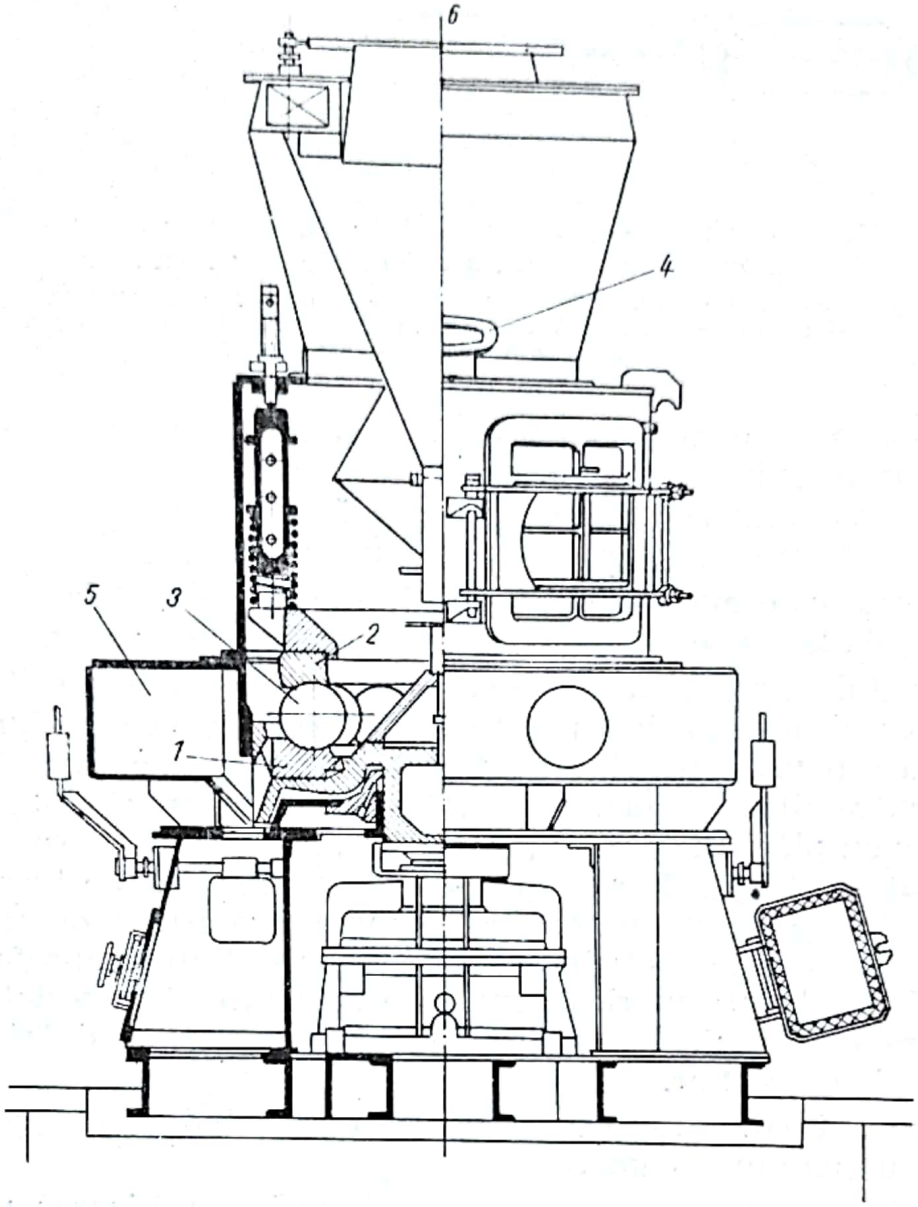


Fig. 4.10. Moară cu inele orizontale și bile :
1 — inel rotativ; *2* — inel fix; *3* — bile; *4* — tub pentru alimentare cu material; *5* — conductă pentru aer; *6* — conductă de evacuare a materialului măcinat.

Materialul de măcinat este alimentat în interiorul „rulmentului" și ajunge sub bile unde este mărunțit prin strivire și frecare.

Curentul de gaz ascendent antrenează materialul spre separatorul rotativ, unde fracțiunea grosieră este recirculată, iar produsul fin este antrenat de curentul de gaz pînă la un ciclon unde particulele solide se separă din suspensia de gaz.

4.1.4.2. **Mașini cu acțiune principală de lovire. Mori cu bile, cu tambur rotativ.** Morile cu bile, cu tambur rotativ, sînt cele mai răs-

Scanned with OKEN Scanner

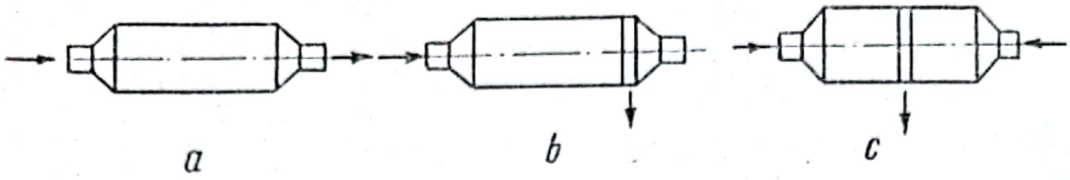


Fig. 4.11. Clasificarea morilor cu bile cu tambur rotativ, după modul de evacuare a produsului măcinat :

a — evacuare axială prin fusul morii; *b* — evacuare periferică la capătul morii; *c* — evacuare periferică în treimea mijlocie a lungimii, cu alimentare prin ambele capete ale morii.

pîndite mașini folosite la măcinarea materiilor prime, precum și a clincherului în industria cimentului.

Mărunțirea materialului se realizează prin efectul combinat de lovire și de frecare a unor corpuri de măcinare libere.

Tamburul este executat din tole de oțel (de 10—60 mm grosime) și este închis la ambele capete cu funduri din oțel turnat.

Materialul de mărunțit (de obicei mai mic de 25 mm) se introduce la un capăt al morii, prin fusul tubular și este evacuat fie prin fusul tubular la capătul opus, fie prin fante periferice amenajate la mijlocul sau extremitatea morii (fig. 4.11). Tamburul morii este căptușit în interior cu plăci de blindaj (de 15—60 mm grosime), executate din oțel turnat sau forjat. Forma geometrică a suprafeței de lucru a plăcilor de blindaj influențează desfășurarea procesului de măcinare. Aceasta se datorește coeficientului de frecare dintre suprafața blindajului și umplutura morii (corpuri de măcinare și material de măcinat) care contribuie la asigurarea înălțimii optime de ridicare a încărcăturii în tambur.

În fig. 4.12 sînt arătate unele tipuri de blindaje pentru morile tubulare cu mai multe camere.

Blindajele cu proeminențe sau în cascadă se utilizează în camerele în care măcinarea se realizează mai ales prin lovire (la intrarea în moară a materialului), iar cele netede în partea unde măcinarea se realizează îndeosebi în urma frecării materialului între bile și blindaj.

De obicei, fiecare placă de blindaj este prinsă de corpul morii de un șurub cu cap îngropat, între blindaj și corpul morii punîndu-se materiale de etanșare.

În ultima vreme s-au realizat blindaje negăurite, fixate cu ajutorul unor bare prinse de manta și s-au experimentat, de asemenea, blindaje cu plăci care se fixează prin împănare.

În scopul repartizării cît mai avantajoase a corpurilor de măcinare (cele mai mari spre capătul de alimentare) și al reducerii nu-

Scanned with OKEN Scanner

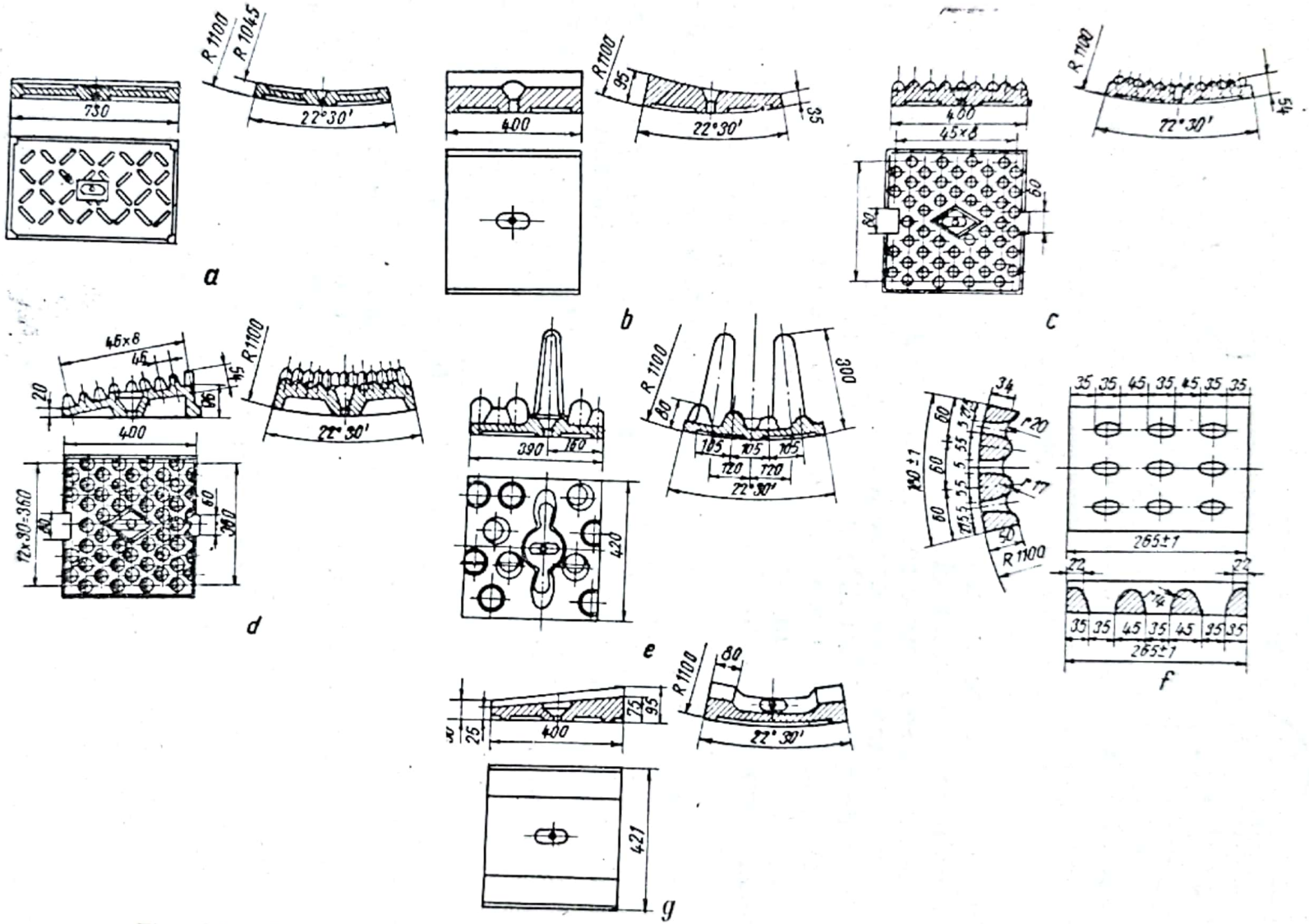


Fig. 4.12 Tipuri de plăci de blindaj pentru morile cu mai multe camere:
a — cu striaţii; *b* — în cascadă; *c* — cu proeminenţe egale; *d* — cu proeminenţe în cascadă; *e* — cu colţ de antrenare; *f* — pentru camerele finisoare; *g* — autosortatoare.

Scanned with OKEN Scanner

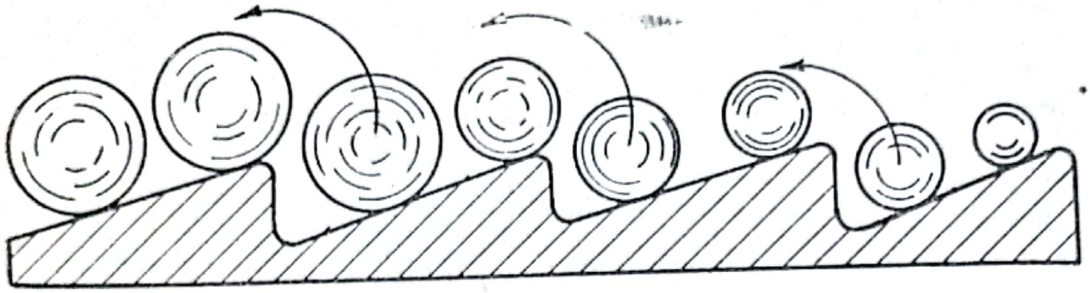


Fig. 4.13. Schema funcționării blindajelor autosortatoare (bilele mai mari cu tendința să se deplaseze spre stînga).

mărului de camere, se pot utiliza blindaje autosortatoare (fig. 4.13). Pentru reducerea consumului de oțel și reducerea zgomotului, la măcinarea umedă se folosesc recent blindaje din cauciuc dur.

Corpurile de măcinare, executate din materiale similare cu cele ale plăcilor de blindaj, au diferite forme geometrice (sferă, cilindru, bicon etc.). Uneori se folosesc drept corpuri de măcinare bare rotunde din oțel a căror lungime este aproape egală cu aceea a camerei morii. Corpurile de măcinare, împreună cu materialul de mărunțit, ocupă între 20 și 40% din volumul util al morilor cu tambur rotativ. Gradul de umplere al unei mori se poate determina cu ajutorul nomogramei din fig. 4.14.

Corpul morii poate fi împărțit în mai multe camere prin intermediul unor pereți perforați (fig. 4.15). Aceștia sînt formați din sectoare sau segmente circulare prevăzute cu fante, care permit trecerea materialului măcinat, reținînd corpurile de măcinare.

Gradul de umplere al fiecărui compartiment este același. Dimensiunea și forma corpurilor de măcinare variază de la o cameră la alta. La intrarea materialului, granulele fiind mari, mărunțirea se realizează mai ales prin lovire, deci este indicat să se utilizeze bile de dimensiuni mari. La ieșirea materialului, cînd granulele sînt mici, mărunțirea se face mai ales prin frecare, deci este necesar ca corpurile de măcinare să aibă o suprafață specifică cît mai mare, deci se vor utiliza corpuri cilindrice, bitronconice etc.

Dimensiunea maximă pentru corpuri de mărunțire sub formă de bile se poate calcula cu relația dată de Bond :

$$d_{max} = 20{,}17 \sqrt{\frac{D_{80}}{K}} \sqrt[3]{\frac{K_{Bm} \cdot \rho}{\psi \sqrt{D_i}}} \quad [\text{mm}]$$

în care :

D_{80} este dimensiunea materialului de alimentare, caracterizată prin dimensiunea ochiului sitei prin care trece 80% din material, în μm ;

Scanned with OKEN Scanner

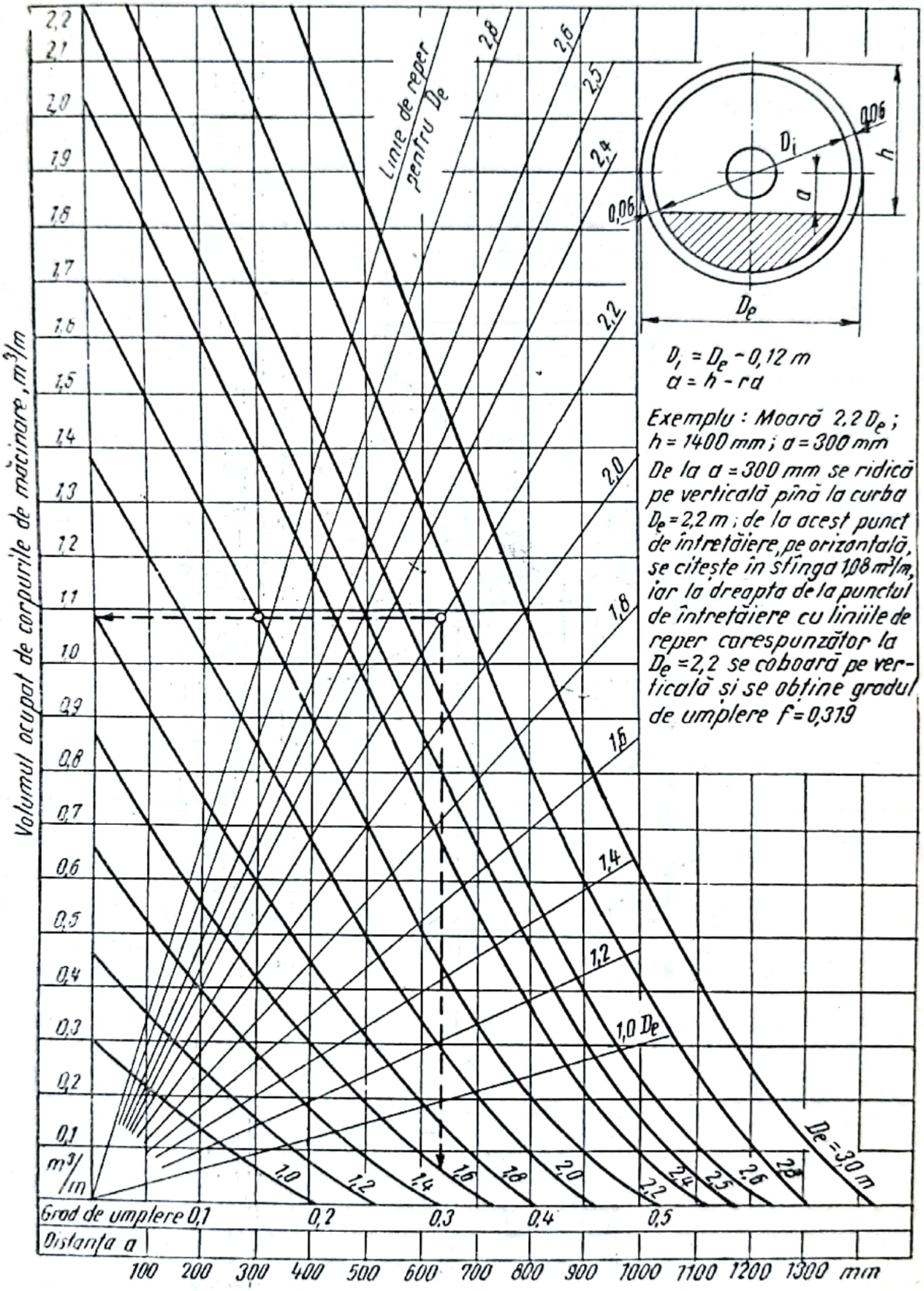


Fig. 4.14. Nomogramă pentru determinarea gradului de umplere a morilor tubulare.

Scanned with OKEN Scanner

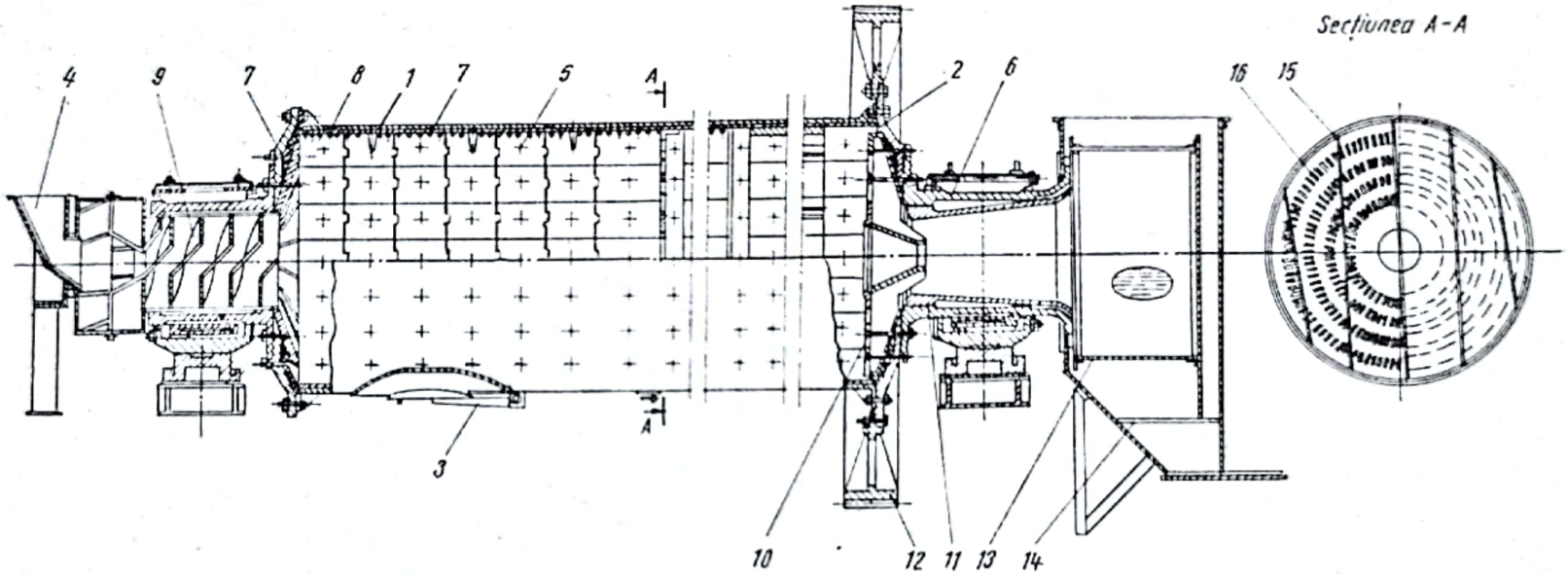


Fig. 4.15. Moară tubulară cu bile compartimentată :

1 — corpul morii; *2, 7* — capacele morii; *3* — gură de vizitare și încărcare cu corpuri de măcinare; *4* — gură de alimentare; *5* — șuruburi de fixare a plăcilor de blindaj; *6* — piesă de sprijin de lagăre; *8* — blindaje; *9* — ghidaje pentru antrenarea materialului; *10* — șuruburi de prindere a capacelor; *11* — tub de evacuare; *12* — coroană dințată; *13* — sită pentru reținerea corpurilor de măcinare; *14* — pîlnie de evacuare; *15* — perete despărțitor; *16* — fantă de trecere.

Scanned with OKEN Scanner

K — parametru egal cu 350 pentru măcinarea umedă și cu 335 pentru măcinarea uscată (în circuit deschis sau închis) ;

K_{bm} — indicele energetic, raportat la tone metrice (1 000 kg), în kWh/t ;

ρ — densitatea materialului supus măruntirii, în t/m^3 ;

ψ — turația relativă, egală cu raportul n/n_{cr}, în % ;

D_i — diametrul util al morii, în m.

Raportul între lungimea interioară L_i și diametrul interior D_i al morii se alege în funcție de finețea necesară a produsului și de procedeul de măruntire adoptat. Morile care execută numai o măcinare preliminară și cele care funcționează cu recirculare au raporturi L_i/D_i mai mici, în timp ce morile finisoare și în special cele care funcționează în circuit deschis au raporturi L_i/D_i mai mari.

În tabelul 4.5 se dau unele valori ale acestui raport pentru diferite tipuri de mori și numărul de camere al acestora.

Tabelul 4.5

Tipul de moară	L_i/D_i	Nr. de camere
Mori cu circuit deschis : — preliminare	1—1,5	1
— finisoare	3—4	1—2
— multicamerale	5—7	2—3
Mori cu circuit închis (cu recirculare) :		
— cu evacuare pe la capăt	1,5—3,5	1—2
— cu evacuare în treimea mijlocie	5	2—3

Azi se construiesc mori cu diametre între 1,2 și 5 m, avînd lungimi de 8—16 m, cu una sau mai multe camere.

Determinarea turației critice. Funcționarea optimă a morii depinde în cea mai mare măsură de alegerea corespunzătoare a vitezei sale periferice.

La o viteză mică, încărcătura este ridicată la o înălțime H relativ mică (fig. 4.16, *a*) și se rostogolește înapoi la punctul său de plecare. În cazul în care nu există un coeficient de frecare suficient de mare între suprafața blindajului și încărcătură, aceasta va aluneca pe suprafața căptușelii, producînd o uzură rapidă a acesteia, precum și oscilații mari ale energiei consumate.

Mărindu-se viteza periferică, încărcătura este apăsată mai puternic pe căptușeală și se va ridica pînă la înălțimea H_1 (fig. 4.16, *b*) cînd se desprinde și cade după o traiectorie parabolică.

Scanned with OKEN Scanner

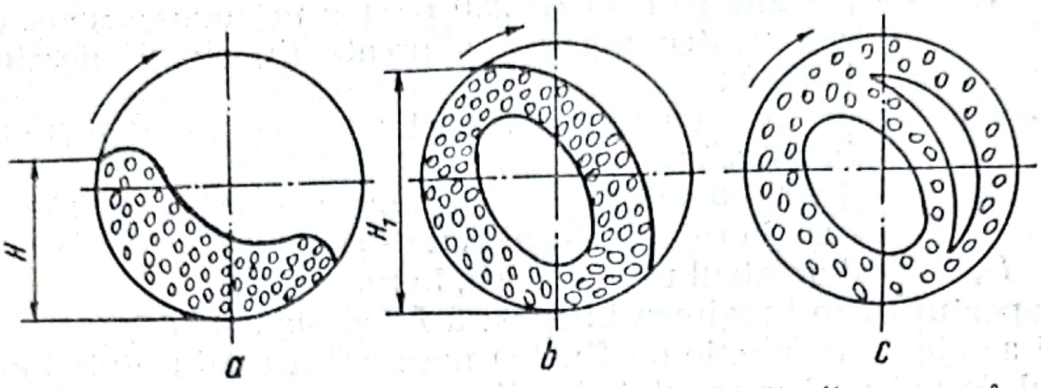


Fig. 4.16. Influența regimului de mișcare a încărcăturii asupra efectului de mărunțire predominant :

a — regim de rostogolire a încărcăturii, predomină mărunțirea prin frecare;
b — regim de aruncare a încărcăturii, predomină mărunțirea prin lovire;
c — regimul vitezei critice.

La o viteză periferică și mai mare se atinge așa-numita *turație critică*, la care stratul exterior al încărcăturii rămîne apăsat pe căptușeala morii, rotindu-se parțial împreună cu aceasta (fig. 4.16, *c*).

Pentru determinarea turației critice se consideră o bilă izolată ajunsă într-un punct A (fig. 4.17) al traiectoriei sale circulare. Asupra ei acționează forța gravitațională G în direcție verticală și forța centrifugă C în direcție radială. Notînd cu α unghiul format de axa verticală cu raza OA, se constată că bila va rămîne apăsată pe căptușeală atîta timp cît forța centrifugă este egală sau mai mare decît componenta radială a forței gravitaționale :

$$C \geqslant N \text{ sau } \frac{m \cdot v^2}{R} \geqslant G \cos \alpha$$

Din ecuația de mai sus rezultă, înlocuind $G = m \cdot g$:

$$v^2 = R \cdot g \cdot \cos \alpha$$

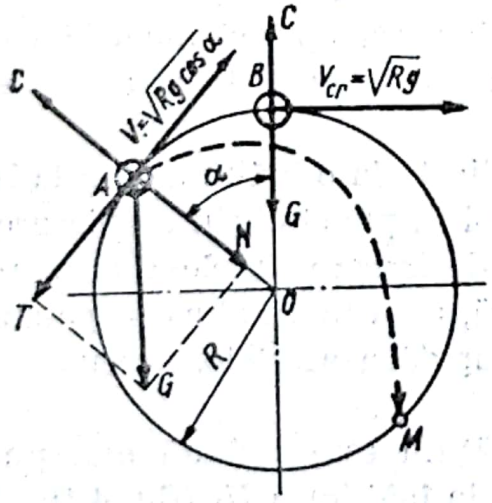


Fig. 4.17. Schema de circulație a bilelor în moară.

sau, introducînd în această ecuație $v = \frac{R \cdot n}{30}$, se obține turația :

$$n = 30 \frac{\cos \alpha}{\sqrt{R}} \cdot \frac{\sqrt{g}}{\pi} \text{ [rot/min]}$$

Turația critică este atinsă cînd bila ajunge în punctul B, unde $\alpha = 0$. În acest caz, valoarea ei va fi dată de relația :

$$n_{cr} = \frac{30}{\sqrt{R}} = \frac{42{,}3}{\sqrt{D_i}} \text{ [rot/min]}$$

în care D_i este diametrul interior al morii.

Scanned with OKEN Scanner

Determinarea puterii necesare antrenării morii. Pentru determinarea puterii necesare antrenării morii se poate întrebuința formula empirică indicată de Blanc :

$$N = CG\sqrt{D_i} \text{ [kW]}$$

în care :

C este un coeficient de putere care depinde de gradul de umplere a morii, de masa corpurilor de măcinare și este indicat în tabelul 4.6 pentru $n = \frac{32}{D_i}$ rot/min și pentru căptușeală netedă a morii ;

G — greutatea totală a corpurilor de măcinare, în kN ;

D_i — diametrul interior al morii, în m.

Tabelul 4.6

Corpuri de măcinare	Coeficientul de putere C, pentru grad de umplere (%) de				
	10	20	30	40	50
Pietre de silex	0,95	0,89	0,79	0,68	0,56
Bile mari din oțel, Ø60 mm	0,86	0,79	0,71	0,61	0,51
Bile mici din oțel	0,83	0,76	0,68	0,59	0,49
Cilindri din oțel	0,80	0,74	0,66	0,57	0,43

La determinarea gradului de umplere al morii se admite că materialul supus măcinării umple golurile dintre corpurile de măcinare, ceea ce reprezintă 12—14% din masa bilelor.

Pentru dimensionarea morilor cu tambur se pornește de la consumul specific de energie pentru mărunțirea unui material de la o dimensiune granulară inițială D la o dimensiune granulară finală d. Consumul specific de energie necesar măcinării este redat cel mai bine de relația indicată de Bond :

$$E_B = K_B \left(\frac{10}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{D_{80}}} \right) \text{ [kWh/ts]}$$

în care :

K_B este un indice energetic dat în tabelul 4.7 și exprimat în kWh/ts (ts înseamnă „tonă scurtă“ = 907,185 kg) ;

D_{80} respectiv d_{80} reprezintă dimensiunea ochiului sitei pentru care trecerea este de 80% înainte, respectiv după măcinare.

Valorile coeficientului K_B sînt valabile pentru măcinarea umedă în circuit închis. Pentru alte procedee, coeficientul energetic se va înmulți cu o serie de factori de corecție.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.7

Materialul	Densitatea materialului, g/cm³	K_B kWh/ts
Argilă	2,23	7,10
Argilă calcinată	2,33	1,43
Bazalt	2,89	20,41
Calcar	2,69	11,61
Calcar marnos	2,68	10,18
Clincher portland	3,09	13,49
Făină brută de ciment	2,69	10,57
Nisip silicios	2,65	16,46
Zgură de furnal	2,39	12,16

Morile cu tambur rotativ prezintă următoarele avantaje în exploatare :

— posibilitatea de a măcina fin materiale avînd aptitudini la măcinare foarte diferite ;

— capacități de producție ridicate, depășind 200 t/oră ;

— reglarea ușoară a fineței de măcinare a produsului ;

— menținerea productivității la un nivel aproape constant, prin completarea și reclasarea periodică a corpurilor de măcinare ;

— siguranță în exploatare (fiabilitate) ridicată ;

— piesele metalice intrate accidental în moară nu produc avarii.

Dezavantajele morilor cu tambur rotativ sînt următoarele :

— consumuri specifice de energie și de metal ridicate ;

— gabarit și masă constructivă mari ;

— zgomot puternic în timpul funcționării.

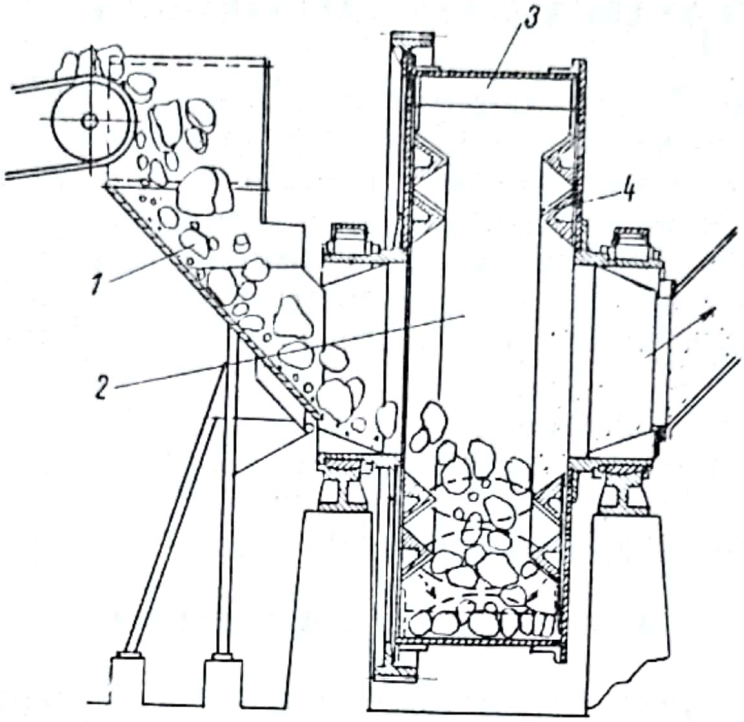
Morile Aerofall. Aceste mori au un tambur cu diametrul de 4,8—9 m și o lățime de 0,9—3,6 m ($L/D = 0{,}2 \ldots 0{,}4$). Ele au pereții frontali deschiși și sînt prevăzute pe periferia interioară cu cupe radiale (fig. 4.18). Materialul alimentat, avînd dimensiuni de 500—900 mm, este ridicat și prin cădere se mărunțește în urma impactului cu materialul aflat în partea inferioară (măcinare autogenă).

Moara funcționează în circuit închis cu un separator mecanic rotativ.

Pentru intensificarea măcinării se pot adăuga bile din oțel, al căror volum să reprezinte 6—7% din volumul morii.

Morile Aerofall se pot întrebuința la măcinarea preliminară concomitent cu uscarea materiilor prime, în fabricile de ciment, produsul rezultat fiind sub 1 mm.

Scanned with OKEN Scanner



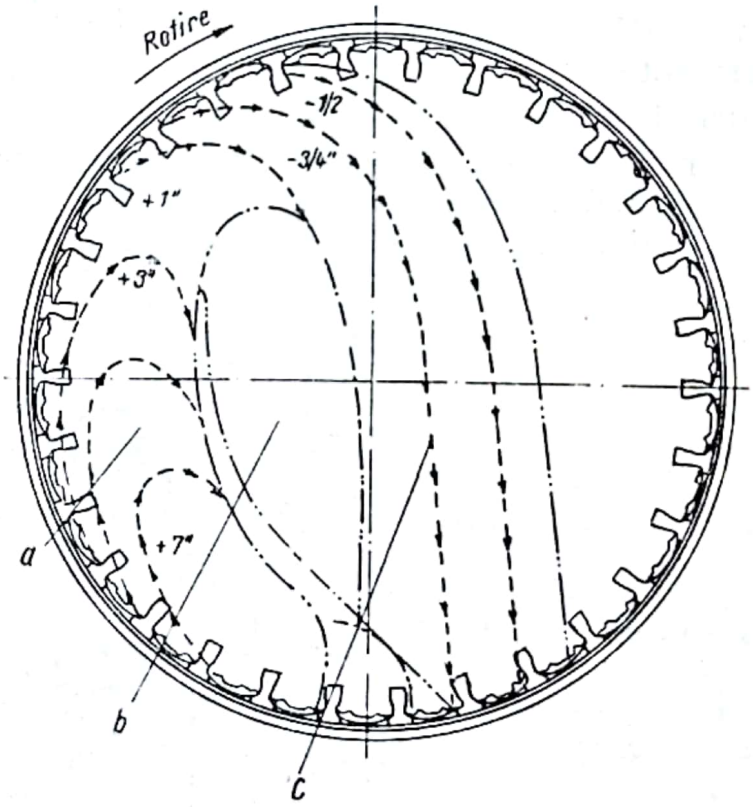


Fig. 4 18. Moara Aerofall :

a — zonă de abraziune; *b* — zonă de cascadă; *c* — zonă de cataract; *1* — jgheab de alimentare; *2* — moară; *3* — bare de sfărîmare; *4* — dinţi (pentru sprijinirea bolţii de material).

Scanned with OKEN Scanner

4.2. CLASAREA MATERIALELOR GRANULARE

În majoritatea operațiilor din industria lianților și mai ales în cele legate de mărunțire, sînt necesare operații de clasare a amestecurilor granulare polidisperse și operații de separare a particulelor solide din gazele evacuate din utilajele tehnologice sau de transport.

Clasarea este fracționarea unui amestec polidispers în două sau mai multe fracțiuni (clase) granulometrice. Fiecare clasă granulometrică conține granule cuprinse între o dimensiune limită inferioară și una superioară.

Granulele care alcătuiesc un amestec polidispers pot fi clasate după dimensiunile lor, operația fiind denumită *clasare volumetrică*, sau după viteza lor de sedimentare într-un fluid, operația fiind numită *clasare gravimetrică* (simptotică).

4.2.1. CLASAREA VOLUMETRICĂ

Se realizează prin trecerea materialului granular peste o suprafață de cernere (clasare), care poate fi formată din :

— grătare (construite din bare așezate paralel sau în cruce) ;

— table perforate ;

— împletituri din sîrme.

Clasarea volumetrică în mai multe clase granulometrice se realizează printr-o succesiune de separări în două clase granulometrice, așa cum se arată în fig. 4.19.

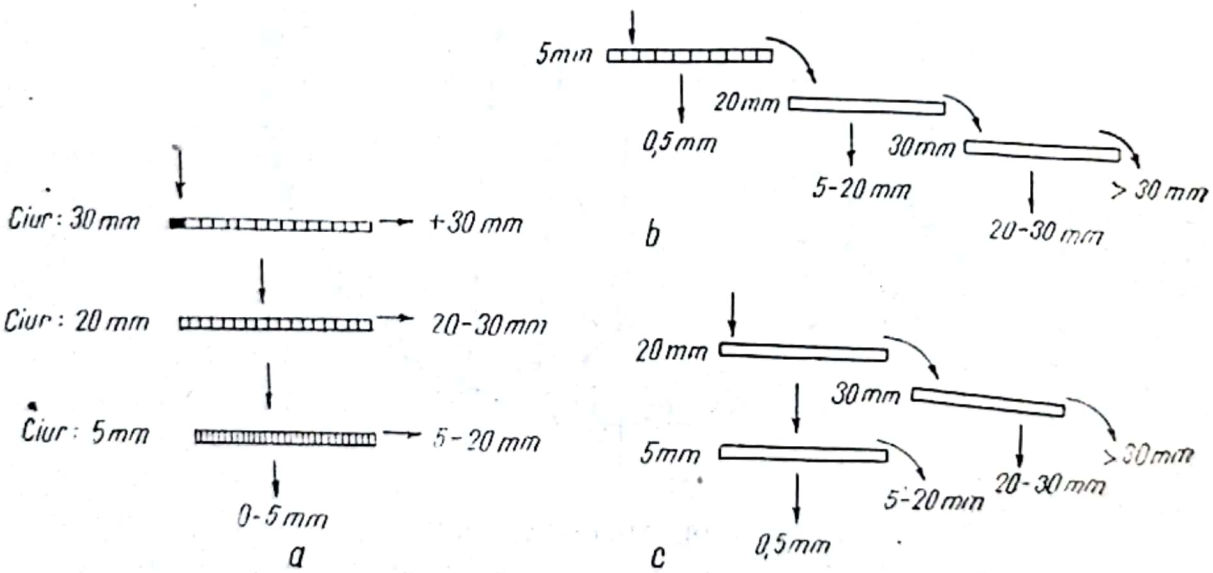


Fig. 4.19. Metoda de clasare volumetrică :
a — clasare prin refuz; *b* — clasare prin trecere; *c* — clasare mixtă.

Scanned with OKEN Scanner

Ciururile cu grătare se folosesc pentru clasarea materialului în bucăți mari, îndeosebi la operațiile de concasare. Ciururile cu grătare se pot clasifica în :

Ciururi cu grătar fix, alcătuite din bare paralele cu distanțe de 100—300 mm între ele, înclinate față de orizontală cu 20—40°. Ele sînt folosite cel mai des pentru reținerea bucăților negabaritice din materialul introdus în buncăre.

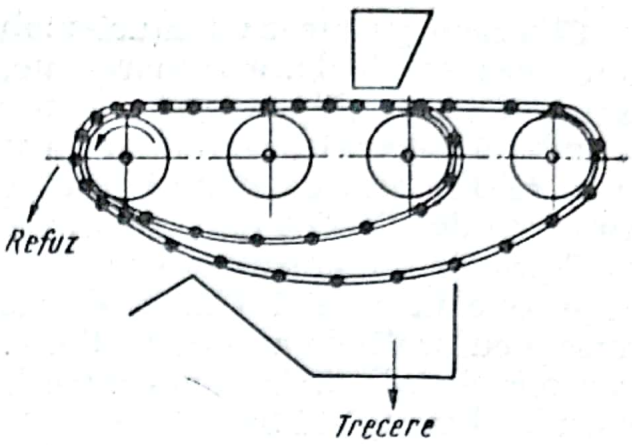


Fig. 4.20. Grătar cu lanțuri mobile.

Avantajele lor sînt : construcție simplă și robustă, nu au piese în mișcare, nu consumă energie.

Dezavantajele sînt : clasare imperfectă, pericol de înfundare, eficiență scăzută.

Ciururi cu grătar mobil pot fi cu lanțuri mobile și cu bare rotative. Ele se folosesc pentru alimentarea unor utilaje tehnologice și clasarea materialului în bucăți mari care conține impurități argiloase (plastice).

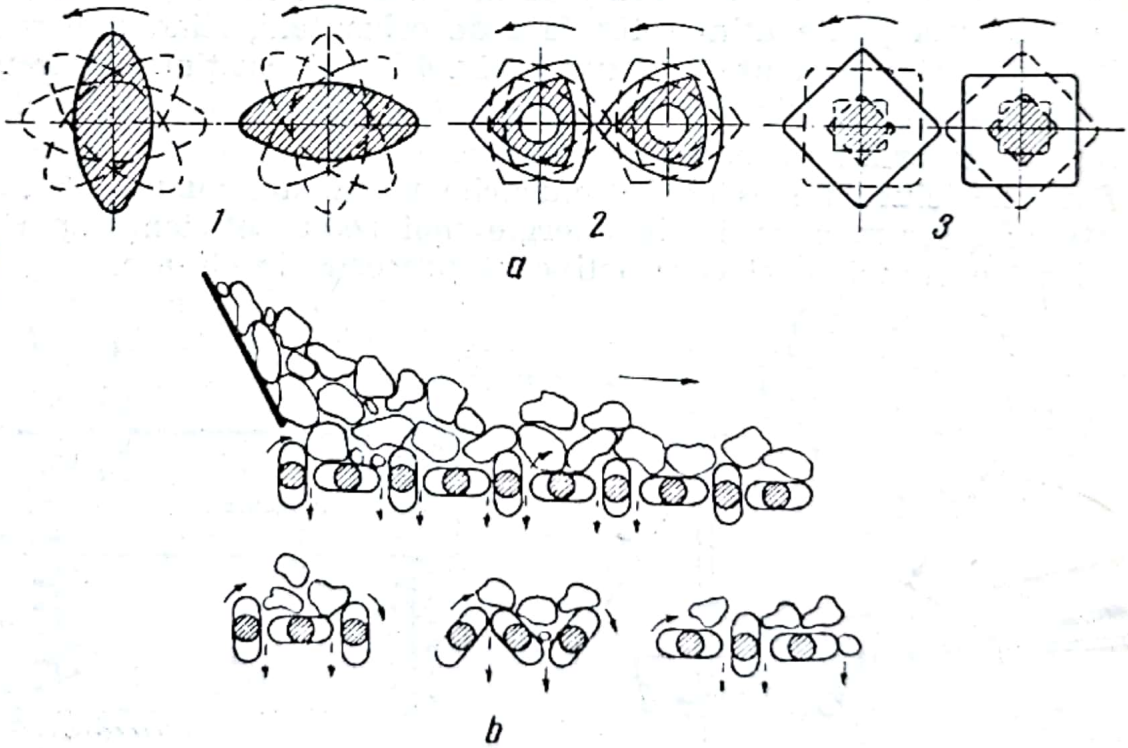


Fig. 2.21. Grătar cu bare rotative :
a — profile de bare rotative: *1* — eliptic; *2* — triunghiular; *3* — pătratic; *b* — schema de funcționare a grătarului.

Scanned with OKEN Scanner

Ciururile grătar cu lanțuri mobile (fig. 4.20) sînt formate din două straturi de bare transversale, prinse la capetele lor în două lanțuri fără sfîrșit. La partea superioară, cele două lanțuri cu bare se îmbucă între ele, iar în partea inferioară se depărtează, astfel că se evită înțepenirea materialului clasat între bare. Distanța între bare este de 30—200 mm iar viteza de înaintare 0,35—0,45 m/s.

Ciururile grătar cu bare rotative (fig. 4.21) sînt formate din două lonjeroane în care sînt așezate lagăre în care se rotesc bare transversale cu profilele arătate în fig. 4.21. Acționarea barelor se face cu transmisie cu lanț. Distanța între bare este de 20—300 mm, iar numărul de bare 6—14 bucăți.

Avantajele ciururilor mobile sînt : clasare bună, funcționare liniștită, consum redus de energie.

Dezavantajele lor sînt : bucățile de material plate se pot înțepeni între bare, întreținerea este dificilă.

Ciururile oscilante sînt alcătuite dintr-un cadru (ramă) pe care sînt montate una sau mai multe site. Mișcarea de oscilație se imprimă în diferite moduri cu ajutorul unor excentrice. În fig. 4.22 este prezentat un ciur înclinat cu oscilații longitudinale rectilinii, într-un plan orizontal.

Ciururile vibratoare se caracterizează printr-o frecvență mare a vibrațiilor (500—2 000 pe minut) cu amplitudine mică (1,5—5 mm). Înclinarea sitei poate atinge 40° față de orizontală, fiind mai mare decît la ciururile oscilante. Ciurul din fig. 4.23 este susținut de arcuri, iar axul, legat direct de motor, are două excentrice (discuri debalansoare) care imprimă mișcarea de vibrație.

Față de ciururile oscilante, ciururile vibratoare au următoarele avantaje : consum specific de energie mai redus, eficiență sporită, datorită frecvenței mari care activează procesul de clasare.

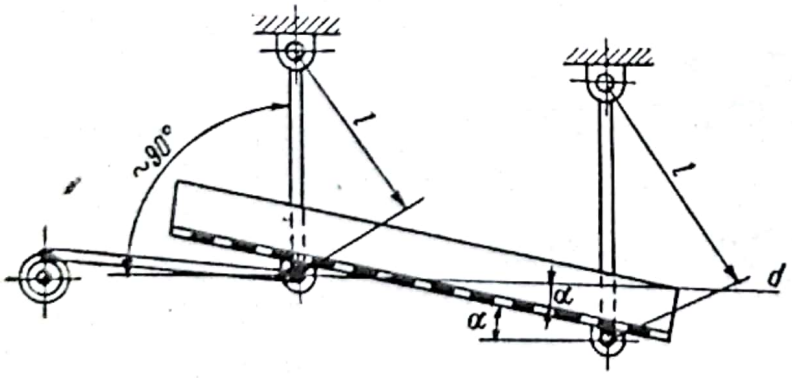


Fig. 4.22. Ciur oscilant înclinat cu mișcare longitudinală rectilinie.

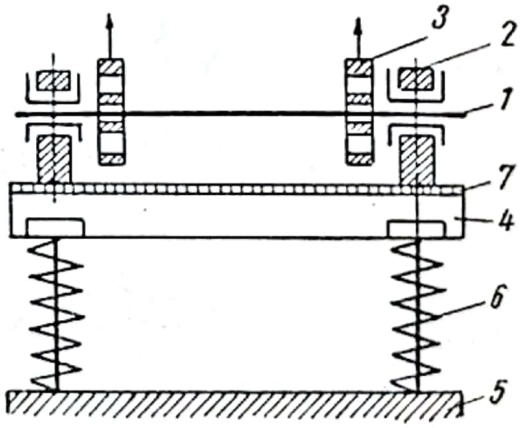


Fig. 4.23. Ciur vibrator :
1 — arbore; *2* — palier; *3* — excentrice; *4* — ramă; *5* — batiu; *6* — arc; *7* — ciur.

Scanned with OKEN Scanner

4.2.2. CLASAREA PNEUMATICĂ

Clasarea materialelor granulare sau pulverulente aflate într-un curent de gaz, se face pe baza diferenței vitezei lor de cădere.

Viteza de cădere (sedimentare) este cel mai mult influențată de dimensiunea particulelor, astfel că este posibilă separarea materialului granular în două sau mai multe clase granulometrice.

Pentru clasare pneumatică se utilizează mai multe tipuri de clasoare (separatoare), dintre care se descriu următoarele :

Separatorul pneumatic (static) cu curent ascendent de aer. Modul de lucru al separatorului rezultă din schema prezentată în fig. 4.24. Dispersia eterogenă gazoasă, formată din particule solide într-o suspensie de gaz, cu direcția de mișcare ascendentă, pătrunde în separator prin conducta *1* cu viteza de 18—20 m/s. Datorită lărgirii secțiunii, viteza gazului scade pînă la 4—6 m/s. Curentul de aer cu particulele de material în suspensie se lovește totodată de conul deflector *7*, care schimbă direcția lui.

Din cauza vitezei ascensionale reduse și sub acțiunea forței de inerție, particulele mai mari se separă din curent și cad în conducta *2*, pentru a fi reintroduse în circuitul de măcinare. În continuare, curentul de aer ocolește marginea superioară a conului interior *4* și trece prin jaluzelele *5*. Datorită înclinării jaluzelelor, într-o direcție ce poate fi modificată în timpul funcționării cu ajutorul manetei *6*, curentul de aer capătă o mișcare de rotație. În urma schimbării bruște a direcției curentului de aer, datorită inerției, cum și a forței centrifuge, particulele mai mari cad în camera interioară, pe conul deflector *7*, trec prin curentul de aer pentru desfacerea unor eventuale aglomerări de particule și intră în conducta *2* de reintroducere în moară. Aerul, conținînd particule

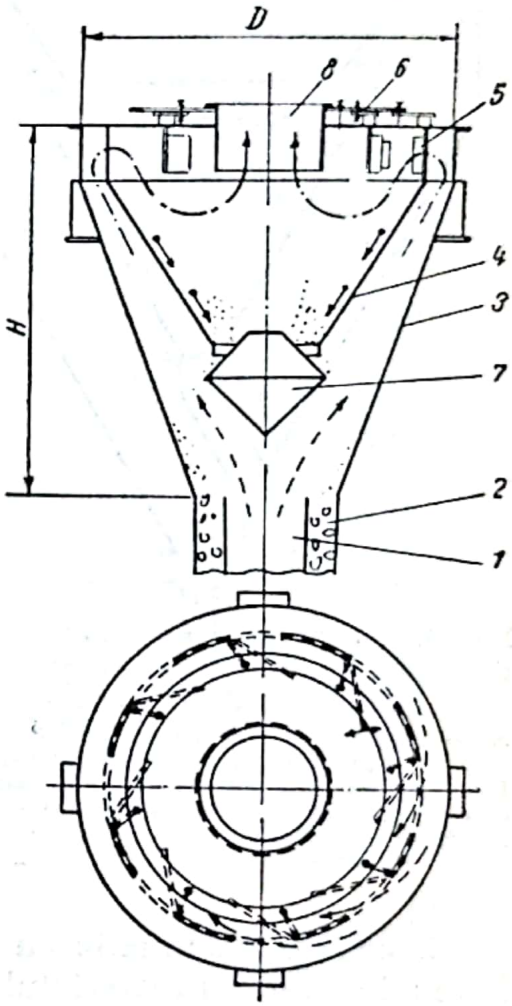


Fig. 4.24. Separator pneumatic static cu curent ascendent de gaz :

1 — conductă de intrare; *2* — conductă de evacuare a fracțiunii grosiere; *3* — carcasa exterioară; *4* — carcasa interioară; *5* — jaluzele; *6* — manetă de reglare; *7* — con deflector; *8* — conductă de evacuare a fracțiunii fine.

Scanned with OKEN Scanner

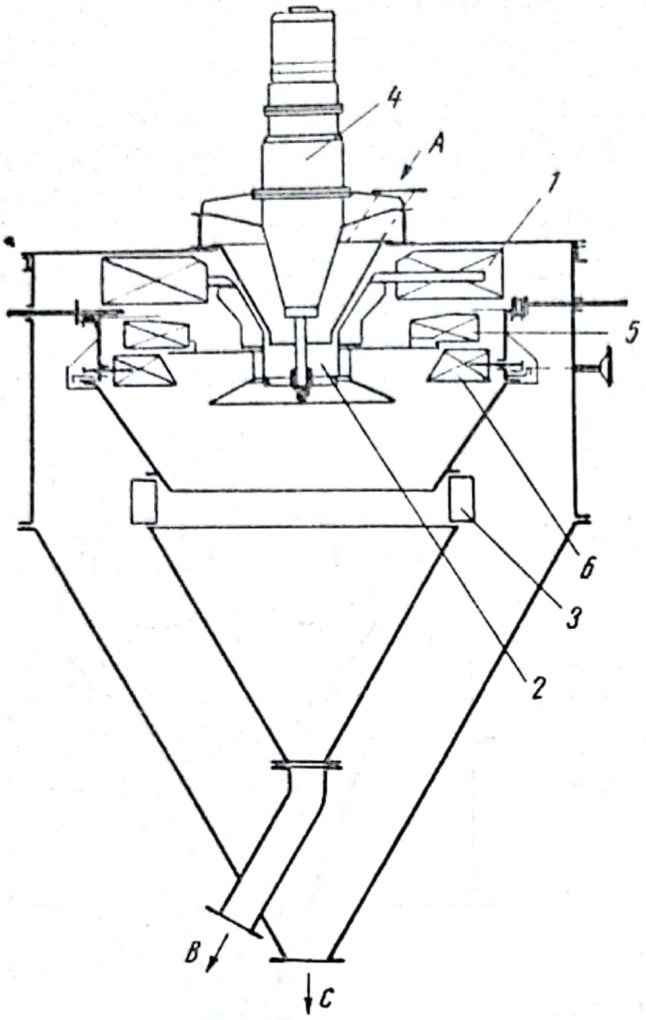


Fig. 4.25. Separator pneumatic dinamic cu disc de împrăștiere, cu ventilator principal interior :

A — alimentare cu material; *B* — fracțiune grosieră; *C* — fracțiune fină; *1* — ventilator pentru circulația aerului; *2* — disc de împrăștiere; *3* — aparat deflector cu jaluzele; *4* — acționare; *5* — ventilator de reglare a finețiі; *6* — clapete de reglare.

fine de praf, iese din separator prin tubul *8* și este dirijat într-o instalație de separare a particulelor solide (baterie de cicloane) și apoi, după desprăfuire într-un filtru, este evacuat în atmosferă.

Mărimea particulelor de material care se separă din curentul de aer în separator se reglează prin modificarea vitezei curentului de aer sau cu ajutorul poziției jaluzelelor *5*.

Separatoarele pneumatice statice se construiesc cu diametre *D* de pînă la 5,5 m și înălțimea *H* pînă la 6 m.

Separatoare pneumatice (dinamice) cu disc de împrăștiere. În industria lianților (cimentului) se întrebuințează două tipuri de separatoare cu disc de împrăștiere :

— cu ventilatorul principal de circulație a aerului amplasat în interiorul separatorului ;

— cu ventilatorul principal de circulație a aerului amplasat în exteriorul separatorului.

Separator pneumatic cu ventilator principal interior (fig. 4.25). Este alimentat cu materialul granular printr-un tub amplasat în partea superioară *A*. Materialul cade pe discul de împrăștiere *2* care se rotește cu turație mare, fiind acționat de motorul *4*. Particulele sînt împrăștiate înspre pereții conului interior și întîlnesc curentul de aer ascendent creat de ventilatorul *1*. Particulele mari cad în jos și sînt colectate în conducta de evacuare *B*. Particulele fine, antrenate de curentul de aer, trec printre paletele ventilatorului *1* și ajung în spațiul inelar dintre cele două conuri. Curentul de aer se reîntoarce

Scanned with OKEN Scanner

în spațiul interior trecînd prin jaluzelele *3* cu o schimbare bruscă a direcției. Datorită inerției, particulele solide nu pot urmări curentul de aer și cad în conul exterior, fiind colectate în conducta de produs finit *C*.

Finețea materialului clasat se reglează prin modificarea poziției paletelor ventilatorului (notate cu *5*), a clapetelor de reglare *6*, cum și prin modificarea turației ventilatorului principal *1*.

Avantajele separatoarelor pneumatice cu ventilator interior sînt : o clasare bună și o construcție relativ compactă.

Dezavantajul principal îl constituie faptul că ventilatorul principal lucrează într-un mediu cu praf, motiv pentru care paletele sale se uzează foarte repede.

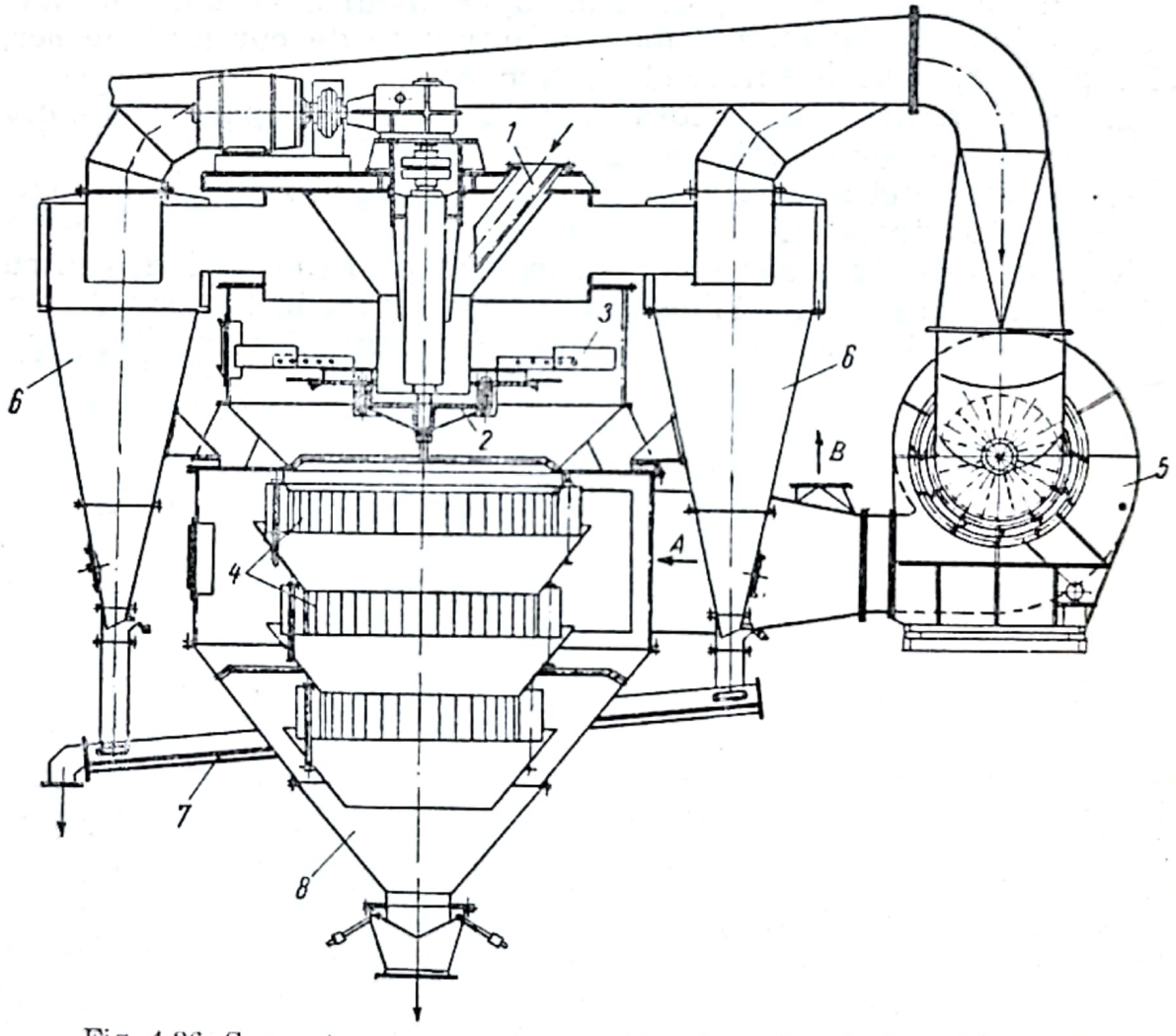


Fig 4.26. Separator pneumatic centrifugal cu disc de împrăștiere și ventilator exterior :

1 — conductă de alimentare; *2* — disc de împrăștiere; *3* — palete de reglare; *4* — dispozitiv deflector; *5* — ventilator principal; *6* — cicloane; *7* — rigolă pneumatică; *8* — pîlnie de evacuare a fracțiunii grosiere :
A — intrare aer; *B* — ieșire aer.

Scanned with OKEN Scanner

Separatorul pneumatic cu ventilator principal exterior (fig. 4.26) este alimentat cu materialul de clasat prin conducta de alimentare *1*, din care cade pe discul de împrăștiere *2*, care este antrenat de un motor cu viteză reglabilă. Deasupra discului de împrăștiere sînt fixate paletele de reglare *3*. Particulele fine sînt antrenate de curentul de aer ascendent produs de ventilatorul principal exterior *5* ; viteza curentului de aer este influențată de poziția și viteza periferică a paletelor de frînare *3*, care se rotesc împreună cu discul de împrăștiere. Particulele mai mari cad pe suprafața deflectoare *4* și se întîlnesc cu curentul de aer recirculat, care antrenează în mișcarea sa particulele mai fine. Curentul de aer încărcat cu particule fine trece prin cicloanele *6*, unde cea mai mare parte a particulelor solide se separă din curentul de aer și cade în rigola pneumatică sau transportorul elicoidal 7. Particulele mari neantrenate de curentul de aer, cad în pîlnia *8*, de unde sînt readuse în moară.

La aceste ventilatoare, uzura ventilatorului principal este relativ redusă, deoarece transportă numai aer purificat.

Reglarea finețeî se face în mod similar ca la separatorul cu ventilator principal interior.

Se poate introduce aer rece sau încălzit prin racordul *A*, pentru răcirea sau uscarea materialelor în timpul separării. Excesul de aer se evacuează prin racordul *B* în atmosferă, prin intermediul unui filtru.

Scanned with OKEN Scanner

5. VAR AERIAN

5.1. DEFINIRE. TIPURI DE VAR AERIAN

Varul — ca atare sau în amestec cu materiale silicioase active (puzzolane) — a fost primul material de construcție folosit încă de pe vremea grecilor și romanilor. Către sfîrșitul secolului XIX și începutul secolului XX s-au pus bazele moderne ale fabricării și utilizării acestui liant.

Varul aerian este liantul ce se obține prin calcinarea, pînă la disociere totală, a calcarului cu un înalt grad de puritate. Produsul rezultat constă, în principal, din oxid de calciu.

În funcție de conținutul în CaO al varului și deci de natura materiei prime din care provine, se deosebesc mai multe tipuri de var aerian :

— varul gras, de construcție, rezultă prin calcinarea la 1 100 °C a unui calcar foarte pur ;

— varul magnezian se obține din calcare avînd 10—25% $MgCO_3$, prin calcinare la cel mult 1 000 °C ;

— varul dolomitic se obține din calcare dolomitice (cu pînă la 50% $MgCO_3$), prin calcinare la 700—800 °C.

Date fiind multiplele domenii de utilizare, varul aerian poate fi grupat în două clase și anume : *var de construcții,* destinat mortarelor de zidărie sau tencuială, sau constituind adaos la prepararea betoanelor și *var industrial,* utilizat în industria chimică, siderurgică, alimentară, industria pielăriei etc. Varul pentru construcții se fabrică la noi în trei calități (STAS 146-70), iar varul industrial, în funcție de destinație, în 5 tipuri (STAS 254-75). Caracteristicile impuse acestor sortimente de var sînt indicate în tabelele 5.1 și 5.2.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.1

Caracteristici	Calitatea		
	Superioară	I	II
Oxid de calciu și de magneziu activ, % min.	90	85	75
Oxid de magneziu, % max.	5	5	5
Reziduu la stingere, % max.	5	10	15
Randament în pastă (l/kg)	2,4	2,2	1,6

Tabelul 5.2

Coracterictici	Tipul de var industrial				
	I	II	III	IV	V
Oxid de calciu, % min.	96	96	96	93	93
Oxid de calciu și de magneziu activi, % min.	93	92	90	87	78
Oxid de magneziu, % max.	1,3	1,3	1,3	2,0	2,0
Trioxid de aluminiu și de fier, % max.	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
Bioxid de siliciu, % max.	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
Sulf, % max.	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Reziduu la stingere, % max.	—	7	9	—	—

Tipul I este destinat îndeosebi fabricării carbidului, iar tipurile IV și V, industriei metalurgice. Varurile de tip II și III se folosesc sub formă de pastă sau lapte de var în celelalte industrii menționate anterior.

5.2. CHIMISMUL PROCESELOR CARE AU LOC LA OBȚINEREA ȘI ÎNTĂRIREA VARULUI

5.2.1. PROCESE FIZICO-CHIMICE LA ARDEREA VARULUI

Principalul fenomen care are loc la arderea varului îl constituie decarbonatarea carbonatului de calciu conform reacției :

$$CaCO_3 \rightleftharpoons CaO + CO_2$$

Scanned with OKEN Scanner

Teoretic, procesul de disociere a carbonatului de calciu pur, în condițiile presiunii atmosferice, are loc la temperatura de 898 °C. Dacă presiunea rămîne constantă și temperatura scade sau dacă temperatura rămîne constantă și crește presiunea, procesul decurge în sens contrar. Deci, reacția de descompunere trebuie scrisă astfel :

$$CaCO_3 \underset{t \leqslant 898\,^\circ C,\ p > 760\ mmHg}{\overset{t \geqslant 898\,^\circ C,\ p = 760\ mmHg}{\rightleftharpoons}} CaO + CO_2 + 178\ kJ/mol$$

Temperatura la care are loc practic decarbonatarea și viteza cu care se desfășoară acest proces sînt determinate de presiunea parțială a dioxidului de carbon.

Constanta de echilibru a reacției de decarbonatare ;

$$K = \frac{[CaO] \cdot [CO_2]}{[CaCO_3]}$$

devine de fapt $K = [CO_2]$, ceea ce exprimă dependența ei de presiunea parțială a dioxidului de carbon. Valoarea maximă a presiunii parțiale a CO_2 la care poate avea loc disocierea carbonatului de calciu constituie așa-numita „tensiune de disociere" — $P^*_{CO_2}$. Deci, decarbonatarea are loc atunci cînd $P_{CO_2} \leqslant P^*_{CO_2}$.

Tensiunea de disociere crește cu temperatura astfel încît la temperatura de 898 °C, $P^*_{CO_2} = 760$ mm Hg (vezi fig. 5.1).

În cuptoarele de obținere a varului, presiunea parțială CO_2 este totdeauna mai mică decît tensiunea de disociere, ceea ce face posibilă reacția de disociere a calcarului chiar la temperaturi cu mult

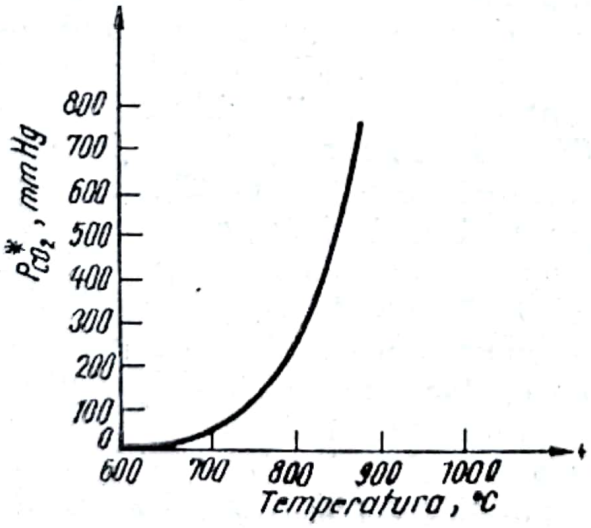


Fig. 5.1. Variația tensiunii de disociere a carbonatului de calciu cu temperatura.

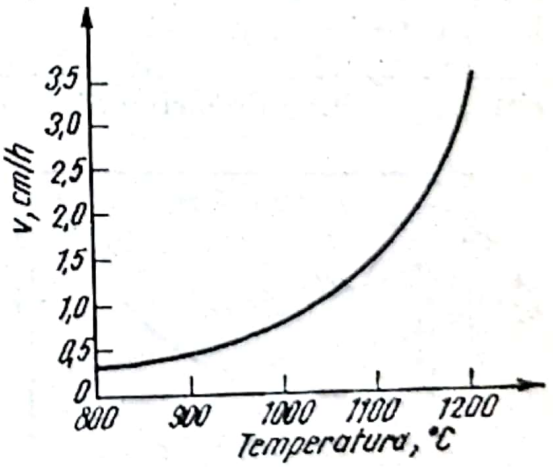


Fig. 5.2. Variația vitezei liniare de decarbonatare a granulelor de calcar în funcție de temperatura de calcinare.

Scanned with OKEN Scanner

mai mici decît temperatura teoretică. În aceste condiții, viteza procesului este însă mică, ea crescînd progresiv cu temperatura, mai ales la temperaturi ce depășesc 1 000 °C, așa cum rezultă din fig. 5.2.

Ca urmare, timpul necesar pentru ca decarbonatarea să fie completă este mult diferit, în funcție de temperatura de ardere și dependent, de asemenea, de dimensiunea medie a granulelor de calcar.

Creșterea temperaturii de calcinare la valori prea mari nu este indicată, deoarece aceasta atrage după sine modificări în structura varului, compactitatea sa și ca urmare, în reactivitatea față de apă.

Prin arderea la temperaturi mai ridicate rezultă un var care conține cristale mai bine formate, avînd dimensiuni cu atît mai mari cu cît temperatura de calcinare este mai mare (fig. 5.3). În aceste condiții are loc, de asemenea, o creștere a compactității, respectiv reducerea porozității varului, ceea ce corelat și cu mărimea cristalelor determină, în cele din urmă, o reactivitate mai mică în raport cu apa.

Varul rezultat prin arderea calcarului la temperaturi ce nu depășesc cu mult temperatura teoretică de ardere, este un var poros, conținînd pori de dimensiuni mici. Prin creșterea temperaturii de calcinare, varul devine mai compact, greutatea sa volumică crește, ajungîndu-se pentru un var supraars la valori de aproximativ $3—3{,}2 \times 10^4$ N/m³ (față de $2{,}5—2{,}7 \times 10^4$ N/m³, cît este greutatea volumică a calcarului).

Dată fiind influența temperaturii de calcinare asupra formării și calității varului, se poate considera ca optim pentru arderea varului intervalul de temperaturi 1 100—1 200 °C.

În cuptorul de ardere, alături de procesul principal — decarbonatarea $CaCO_3$, cu formarea varului, pot avea loc, în funcție de impuritățile eventual conținute în calcar și de natura combustibilului folosit, o serie de procese secundare. Astfel, în condițiile arderii unui calcar impurificat cu $MgCO_3$, chiar anterior formării oxidului de calciu, se produce decarbonatarea $MgCO_3$ cu eliberare de MgO (la temperaturi de 640—660 °C). La temperaturi mai ridicate, oxidul de calciu poate reacționa parțial cu Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2, proveniți din descompunerea substanțelor argiloase, dacă acestea apar eventual ca impurități în calcar. Se formează astfel aluminați, silicați de calciu și compuși conținînd Fe_2O_3.

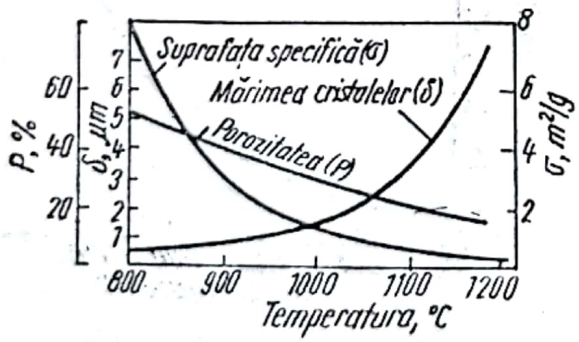


Fig. 5.3. Variația unor proprietăți ale varului în funcție de temperatura de calcinare a calcarului.

Prezența oxidului de magneziu în var influențează negativ calitatea acestuia (cu atît mai evident

cu cît calcinarea se face la temperaturi mai ridicate, cînd MgO este mai bine cristalizat și deci mai puțin reactiv).

Compușii rezultați din interacțiunea CaO cu oxizii aduși de impuritățile argiloase influențează, de asemenea, negativ proprietățile varului, întîrziind stingerea și micșorînd plasticitatea varului stins.

5.2.2. REACTIVITATEA VARULUI

Reactivitatea varului reprezintă capacitatea sa de a reacționa cu apa, transformîndu-se în hidroxid de calciu, conform reacției :

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

Ea este dependentă de conținutul de oxid de calciu activ din var, care la rîndul său este determinat de puritatea calcarului și de condițiile de ardere.

Reactivitatea varului se poate aprecia prin următoarele metode (STAS 3910-76) :

— determinarea conținutului de oxid de calciu activ ;

— măsurarea evoluției temperaturii la reacția varului pulbere cu apa, în condiții adiabatice (reacția este puternic exotermă) ;

— înregistrarea volumului de acid clorhidric consumat în reacția cu $Ca(OH)_2$ format în sistemul var granule + apă, într-un interval de timp impus.

5.2.3. HIDRATAREA ȘI ÎNTĂRIREA VARULUI AERIAN

Procesul de hidratare reprezintă reacția varului cu apa cu formare de hidroxid de calciu. Este un proces puternic exoterm, cantitatea de căldură ce se degajă fiind aproximativ $1{,}15 \times 10^6$ J/kg CaO. Deși volumul real al $Ca(OH)_2$ (avînd densitatea de 2,2 g/cm^3) este puțin mai mic decît suma volumelor reactanților (var cu densitatea aprox. 2,8 g/cm^3 și apă), datorită fracției mari de goluri dintre particulele fine de var stins, volumul aparent al acestuia este cu mult mai mare decît al varului din care provine.

Solubilitatea varului în apă și deci viteza procesului de hidratare este condiționată de o serie de factori cum sînt :

— dimensiunea particulelor de var ;

— structura cristalină a varului ;

— temperatura mediului ;

— prezența unor adaosuri ;

— condițiile de amestecare cu apa (stingere).

Scanned with OKEN Scanner

Solubilitatea oxidului de calciu crește sensibil cu reducerea dimensiunilor particulelor de var, fiind foarte mare pentru particule mai mici de 0,1 μm.

Cu cît varul este mai bine cristalizat, cristalele avînd și dimensiuni mai mari, cu atît viteza de stingere este mai mică ; deci indirect, temperatura de calcinare a varului apare ca factor determinant pentru viteza de stingere.

Temperatura mediului, prin creșterea pînă la 100 °C, influențează pozitiv reacția varului cu apa ; la depășirea temperaturii de 100 °C, solubilitatea varului se micșorează.

Unele substanțe prezente în cantități mici în sistemul var-apă pot frîna procesul de stingere (cum este cazul hidroxizilor alcalini) sau dimpotrivă, îl pot intensifica (este cazul unor săruri).

Condițiile de stingere influențează viteza procesului în sensul că, amestecarea energică și continuă în timpul stingerii intensifică mult reacția varului cu apa.

Păstrarea varului anterior stingerii un timp mai îndelungat, diminuează activitatea sa datorită hidratării și carbonatării parțiale în condiții atmosferice. Ca urmare, procesul de stingere va decurge mai lent.

Întărirea varului aerian este rezultatul proceselor fizice și chimice care au loc în sistemul $CaO—H_2O$: hidratarea oxidului de calciu, cristalizarea hidroxidului de calciu format, uscarea și carbonatarea parțială a $Ca(OH)_2$. Întrucît cu excepția hidratării oxidului de calciu, toate celelalte procese decurg cu viteză redusă, procesul de întărire a varului în ansamblu are un caracter lent, iar sistemul întărit prezintă doar rezistențe mecanice reduse.

5.3. TEHNOLOGIA FABRICĂRII VARULUI AERIAN

5.3.1. FABRICAREA VARULUI AERIAN NESTINS

În prezent, majoritatea fabricilor de var folosesc drept agregat de ardere a calcarului, cuptorul vertical. Cuptorul vertical reprezintă tipul de cuptor cel mai utilizat la fabricarea varului ca urmare a unor avantaje pe care le are :

— transferul de căldură prin convecție mult intensificat ;
— un consum de combustibil relativ scăzut ;
— productivitate ridicată ;
— posibilitatea mecanizării și automatizării operațiilor tehnologice ;
— ușurință în conducerea procesului de ardere.

Scanned with OKEN Scanner

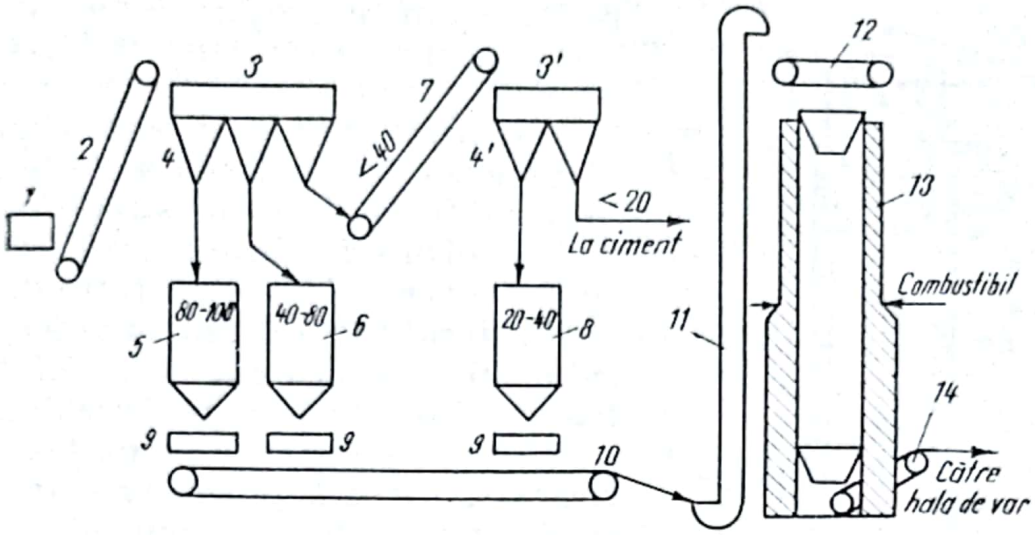


Fig. 5.4. Schema fluxului tehnologic de fabricare a varului aerian nestins :

1 — concasor; *2* — bandă transportoare; *3, 3'* — ciur vibrator; *4, 4'* — buncăre; *5, 6, 8* — buncăre pentru depozitarea fracțiunilor de calcar sortat; *7* — bandă transportoare; *9* — dozatoare; *10* — bandă transportoare pentru calcarul dozat; *11* — elevator; *12* — bandă de alimentare; *13* — cuptor vertical; *14* — bandă de extracție a varului.

În fig. 5.4 se reprezintă schematic fluxul tehnologic de fabricare a varului aerian nestins, folosind ca utilaj de ardere cuptorul vertical și combustibil gazos.

Calcarul adus din carieră se concasează inițial în concasorul *1*, după care o bandă *2* îl transportă la ciurul vibrator *3* prevăzut cu buncărele *4*. Aici se realizează sortarea calcarului în trei fracțiuni granulometrice : fracțiunile 80—100 mm și 40—80 mm sînt reținute în buncărele *5* și *6*, iar fracțiunea sub 40 mm este luată de un alt transportor cu bandă *7* și supusă unei noi sortări : se reține fracțiunea 20—40 mm în buncărul *8*, iar fracțiunea fină (sub 20 mm) este dirijată către fabricarea cimentului. O bandă transportoare *10* preia calcarul din buncărele *5, 6, 8*, prin intermediul dozatoarelor *9* și cu elevatorul *11* este transportat la cuptorul *13* unde se alimentează prin banda *12*. După ardere, varul rezultat este preluat de o bandă *14* și dus la silozul de depozitare, sau la instalația de măcinare.

Măcinarea varului se realizează (după o prealabilă concasare a lui la dimensiuni de 10—20 mm) în mori tubulare cu bile, funcționînd, de regulă, în circuit închis, sau în mori cu role.

Depozitarea varului măcinat se realizează în silozuri asemănătoare celor din industria cimentului. Varul pulbere nestins nu trebuie păstrat o perioadă de timp mai mare de 60 zile, deoarece se micșorează activitatea sa. Acest var, destinat de regulă pentru betonul celular autoclavizat, se livrează numai în vrac, în vagoane cu

Scanned with OKEN Scanner

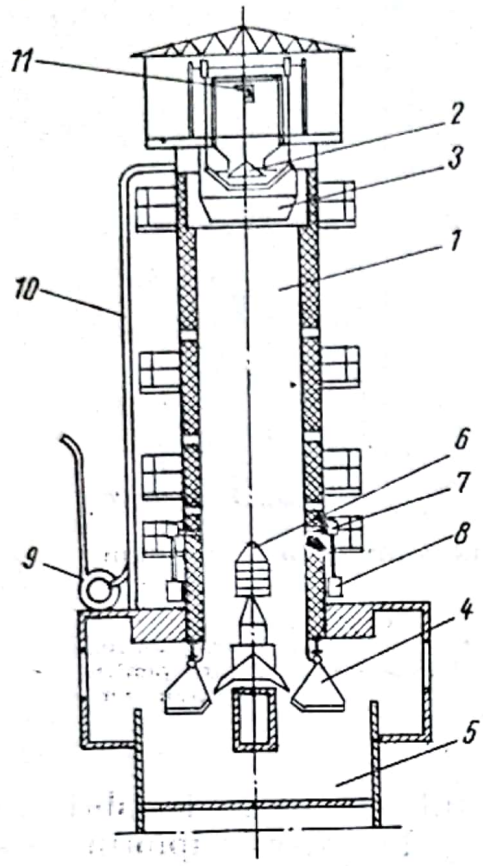


Fig. 5.5. Cuptor de var tip Temelia :

1 — cuva cuptorului; *2* — conul de închidere a gurii de alimentare; *3* — pîlnie de dirijare a calcarului alimentat; *4* — extractor cu sectoare oscilante; *5* — buncăr de var; *6* — arzător central; *7* — arzător lateral; *8* — conducta distribuitoare de gaz combustibil *9* — exhaustor; *10* — conductă de aspirație a gazelor arse; *11* — monorai pentru alimentarea cu calcar.

recipiente metalice speciale sau în autocamioane prevăzute cu astfel de recipiente.

Cuptoarele verticale pentru arderea varului pot funcționa cu materialul fie în strat filtrant, fie în strat fluidizat. Se cunosc diferite tipuri constructive de cuptoare verticale cu strat filtrant.

Cuptorul vertical pentru arderea varului în contracurent (fig. 5.5). Este foarte utilizat în industria varului. Calcarul se alimentează la partea superioară și coboară progresiv către baza cuptorului. Preluînd căldura gazelor de ardere care urcă în cuptor, se preîncălzește, ajunge în zona de ardere unde are loc decarbonatarea. Varul ars coboară în zona de răcire unde întîlnește curentul de aer insuflat la partea inferioară a cuptorului, sub acțiunea căruia se răcește. Aerul astfel preîncălzit este folosit drept aer de ardere.

Consumul specific de căldură este de aproximativ 4 400 kJ/kg var, iar productivitatea cuptorului de aproximativ 14 t/m^2·24 ore (se referă la aria secțiunii transversale a zonei de ardere).

Pentru raportul între dimensiunea maximă și cea minimă a bucăților de calcar alimentate în cuptorul vertical se recomandă valori cuprinse între 3 și 5. La depășirea unor asemenea rapoarte sau la o conducere necorespunzătoare a focului în zona de ardere există pericolul să rezulte var supraars sau calcarul să rămînă parțial nedescompus. În ambele cazuri, calitatea varului rezultat este inferioară.

Perfecționarea cuptoarelor verticale în contracurent a urmărit evitarea supraarderii varului și asigurarea unei decarbonatări cît mai complete cu menținerea unor productivități mari ; aceasta se realizează prin :

— amplasarea arzătoarelor la două niveluri ;

— recircularea unei părți din gazele calde pentru diluarea gazelor de ardere proaspete.

Scanned with OKEN Scanner

Cuptorul vertical regenerativ în echicurent (fig. 5.6). Se poate construi cu două sau trei cuve cu secțiune circulară sau dreptunghiulară, care comunică între ele la partea inferioară a zonei de ardere (la trecerea spre zona de răcire). În fiecare cuvă are loc succesiv preîncălzirea calcarului (pe seama gazelor arse provenite din cuva în care are loc arderea), decarbonatarea calcarului (sub acțiunea temperaturilor ridicate realizate prin arderea combustibilului lichid sau gazos cu aer preîncălzit) — cu circulația în echicurent a materialului și a gazelor de ardere, precum și răcirea varului.

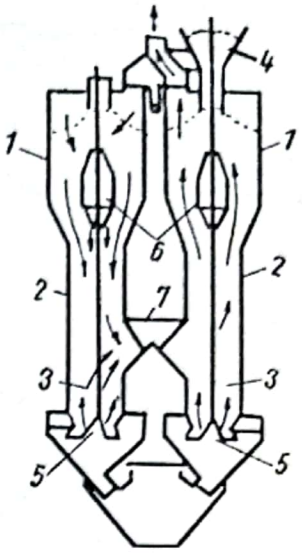


Fig. 5.6. Cuptor vervarului în echicurent, cu recuperare regenerativă :

1 — zonă de preîncălzire; *2* — zonă de ardere; *3* — zonă de răcire; *4* — buncăr de alimentare; *5* — extractor pentru varul ars; *6* — injector de combustibil; *7* — canal de gaze.

Consumul specific de căldură în asemenea cuptoare este în jur de 3 600—3 800 kJ/kg var, productivitatea specifică (raportată la secțiunea transversală a zonei de ardere a tuturor cuvelor) este de aproximativ 24 t/m², 24 ore. Prin acest procedeu se obține un var ars moale, foarte reactiv, deoarece la arderea în echicurent nu se produce fenomenul de supraardere.

Cuptor vertical pentru arderea varului în curent încrucișat. Acest tip de cuptor asigură obținerea unui var ars moale, de calitate constantă. Aceste agregate permit arderea unui calcar mărunt (20—40 mm), deoarece gazele fierbinți rezultate din arderea combustibilului lichid sau gazos în camere de ardere speciale, traversează zonele de ardere ale cuptorului în direcție transversală cu direcția de coborîre a materialului (fig. 5.7). Prin aceasta, grosimea stratului de material care trebuie străbătut este mică, astfel încît se asigură ușor condiții de tiraj corespunzătoare, chiar la dimensiunile mai mici ale bucăților de calcar alimentate. Asemenea cuptoare au un consum de căldură în jur de 4 300 kJ/kg var și o productivitate specifică (raportată la aria secțiunii transversale a zonei de ardere) de aproximativ 25 t/m², 24 ore.

Cel mai nou tip de cuptor vertical folosit pentru arderea varului îl constituie *cuptorul cu arderea materialului în strat fluidizat*. Acesta, date fiind dimensiunile reduse ale granulelor de calcar alimentate, permite obținerea unui produs foarte uniform ars ; prezintă însă dezavantajul unui consum ridicat de energie pentru mărunțirea calcarului. O instalație de ardere (fig. 5.8) constă din 5 camere : 3 camere, avînd un diametru mai mic, sînt destinate preîncălzirii mate-

Scanned with OKEN Scanner

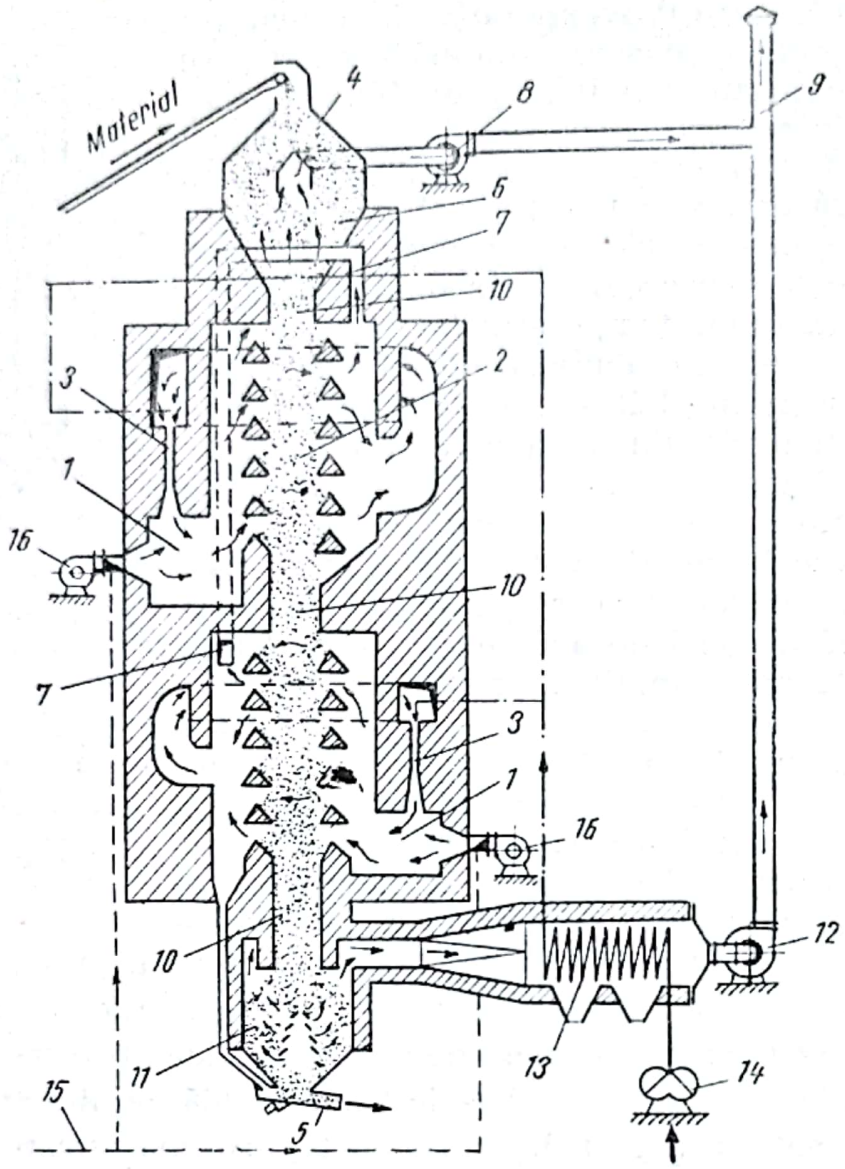


Fig. 5.7. Cuptor vertical pentru arderea varului în curenți încrucișați :

1 — cameră de ardere; *2* — zonă de ardere; *3* — ejector; *4* — buncăr de alimentare; *5* — extractor vibrator; *6* — zonă de preîncălzire; *7* — canal de evacuare a gazelor; *8* — exhaustor pentru gaze; *9* — coș de fum; *10* — coloană de material; *11* — zonă de răcire; *12* — exhaustor pentru aer; *13* — recuperator de combustibil; *14* — suflantă; *15* — conductă de combustibil; *16* — ventilatoare pentru aer primar.

rialului, o cameră cu diametru mai mare servește pentru ardere, iar în ultima cameră se face răcirea.

Calcarul, avînd o granulozitate de 0,25—25 mm, este introdus în camera preîncălzitoare *I*, prevăzută cu o placă perforată *2*, prin care se insuflă gazele calde. Stratul fluidizat are în această cameră gro-

Scanned with OKEN Scanner

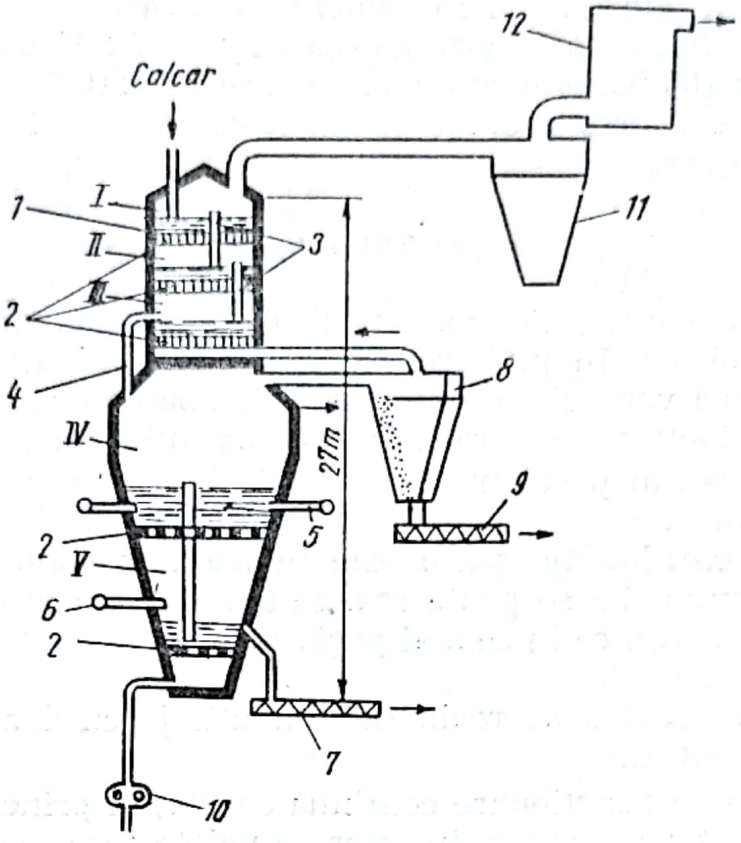


Fig. 5.8. Instalație pentru obținerea varului prin calcinarea calcarului în strat fluidizat :

I, II, III — camere de preîncălzire; *IV* — cameră de ardere; *V* — cameră de răcire; *1* — cuptor; *2* — plăci perforate; *3, 4* — preaplinuri; *5* — injectoare principale; *6* — injector auxiliar (folosit numai la pornirea cuptorului); *7, 9* — transportoare elicoidale; *8* — ciclon pentru gaze calde; *10* — suflantă; *11* — ciclon pentru gaze reci; *12* — desprăfuitor umed.

simea de 250 mm, temperatura ajungînd la aproximativ 500 °C. Gazele care au preîncălzit materialul sînt trecute într-un ciclon *11* și un desprăfuitor *12* după care se elimină în atmosferă. Materialul deversează printr-un preaplin *3* în camera *II*, în care este încălzit în continuare, pînă la circa 700 °C. După aceasta, materialul trece în camera *III* în care grosimea stratului fluidizat este de aproximativ 500 mm iar temperatura ajunge la 850 °C. Între camera *III* și camera *IV* este un perete compact, care nu permite trecerea directă a materialului sau a gazelor. Materialul trece în camera de ardere printr-un deversor exterior *4*. În această cameră, la temperaturi în jur de 1 200 °C, are loc disocierea calcarului. Prin injectoarele *5*, păcura se pulverizează direct în stratul fluidizat. Gazele calde rezultate sînt trecute în bateria de cicloane *8*, după care se introduc în camerele de preîncălzire. Particulele de var reținute sînt preluate

Scanned with OKEN Scanner

de transportorul elicoidal 9. În camera *IV* stratul fluidizat atinge o grosime de 750 mm. Varul deversează în camera *V* unde se răcește la aproximativ 100 °C, datorită aerului rece refulat de o suflantă *10* ; după răcire, varul este preluat de un transportor elicoidal *7* și dus către silozul de var.

5.3.2. STINGEREA VARULUI

În funcție de cantitatea de apă utilizată, stingerea varului se poate realiza în pastă sau în pulbere. Stingerea în pulbere se realizează prin amestecarea varului cu o cantitate de apă ce depășește cu puțin pe cea stoichiometric necesară hidratării oxidului de calciu (32%), în timp ce stingerea în pastă presupune folosirea unei cantități de apă cu mult mai mari.

Stingerea varului în pastă este indicată în condițiile utilizării imediate a varului. Ea se poate realiza manual sau mecanic. Stingerea manuală este din ce în ce mai puțin utilizată — eventual pe unele șantiere mai mici.

Stingerea mecanică se realizează cu utilaje cu funcționare continuă sau discontinuă.

O instalație cu funcționare continuă constă, în principal, dintr-un tambur rotativ *1* prevăzut în interior cu palete care realizează amestecarea continuă și deplasarea pastei (fig. 5.9). Varul se alimentează prin pîlnia *2*, iar apa prin conducta *3*. Pasta de var rezultată în urma hidratării CaO trece printr-un sistem de site *4* în care se reține granulele nehidratate și eventualele impurități ; acestea se îndepărtează din tambur prin gura de evacuare *5*. Pasta hidratată este evacuată din instalație printr-un jgheab *6*, iar vaporii de apă rezultați sînt evacuați prin orificiul 7. O astfel de instalație realizează o productivitate destul de ridicată (50—60 t/zi).

O instalație cu funcționare discontinuă, care poate fi transportată și pe șantier, constă dintr-un collergang în care se realizează atît

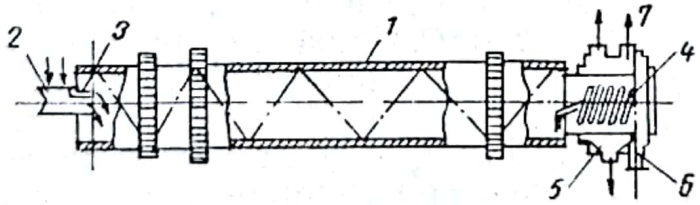


Fig. 5.9. Tambur pentru stingerea varului în pastă :
1 — tambur de stingere; *2* — pîlnie de alimentare; *3* — conductă de apă; *4* — site; *5* — gură de evacuare a bucăților de var nestins; *6* — gură de evacuare lapte de var; *7* — orificiu pentru evacuarea vaporilor de apă.

Scanned with OKEN Scanner

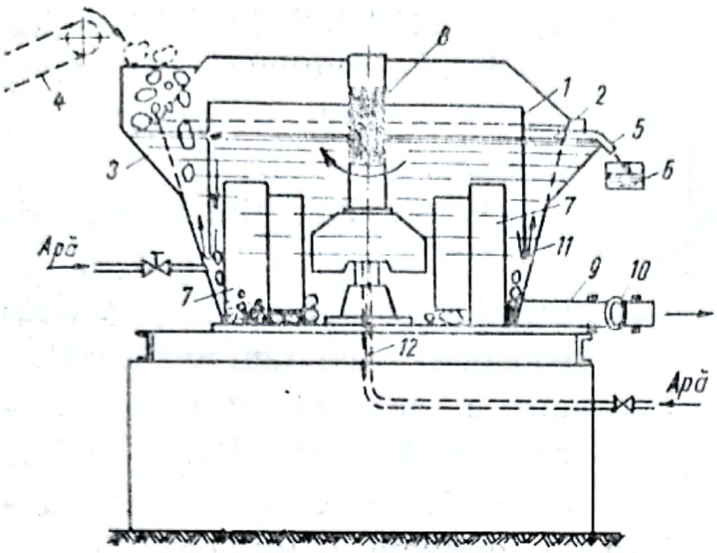


Fig. 5.10. Instalație cu funcționare discontinuă pentru stingerea varului în pastă :

1 — cilindrul separatorului; *2* — diafragmă; *3* — buncăr de alimentare; *4* — transportor; *5* — ștuț de scurgere; *6* — jgheab de scurgere; *7* — tăvălugi; *8* — arc de strîngere; *9* — conductă pentru evacuarea pastei; *10* — robinet cu 3 căi; *11* — șanț circular; *12* — conductă pentru admisia apei destinate protecției hidraulice a lagărelor.

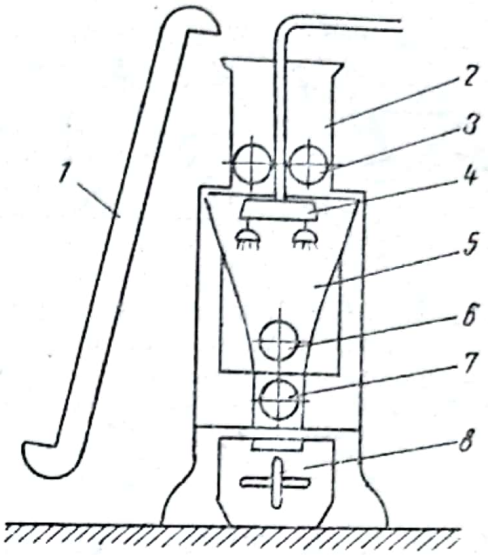


Fig. 5.11. Instalație discontinuă pentru stingerea varului în pulbere :

1 — elevator; *2* — buncăr de alimentare; *3* — concasor; *4* — dispozitiv pentru pulverizarea apei; *5* — cameră de stingere; *6* — palete de amestecare; *7* — transportor cu șnec; *8* — cuvă cu amestecător.

măruntirea, cît și stingerea varului (fig. 5.10). Productivitatea acestor instalații este de 40—70 t/zi.

Stingerea varului în praf este indicată în cazul unui consum mare de var, avînd avantajul că asigură manipularea mai comodă a varului pe șantier, permițînd ambalarea sa în saci de greutate cunoscută. Un avantaj important al metodei este acela că evită rămînerea impurităților nestinse, care produc dificultăți în utilizarea mortarelor.

Instalațiile de stingere pot fi cu funcționare continuă sau periodică. O instalație cu funcționare periodică este prezentată în fig. 5.11. Varul este adus cu un elevator *1* în buncărul *2* și concasat la dimensiuni sub 60 mm în concasorul cu valțuri *3* ; după aceasta se introduce în camera de stingere *5* unde se introduce și apa pulverizată prin dispozitivul *4*. În camera de stingere are loc amestecarea continuă a varului cu apa cu ajutorul unor palete *6*. La partea inferioară a camerei de stingere se măsoară temperatura ; la început aceasta crește, atinge un maxim, după care începe să scadă — acest moment marchează sfîrșitul stingerii. Un transportor cu șnec *7*, prevăzut la partea inferioară cu site cu latura ochiului de 1 mm, transportă varul stins (pulbere fină trecută prin site) la o cuvă cu amestecător *8*, de

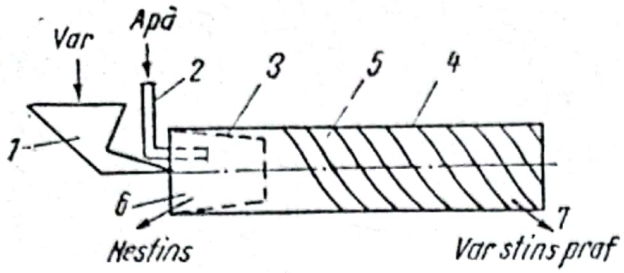


Fig. 5.12. Tambur pentru stingerea continuă a varului în pulbere :

1 — buncăr de alimentare cu var; *2* — conductă de apă; *3* — tambur interior; *4* — tambur exterior; *5* — palete; *6* — evacuare particule nestinse; *7* — evacuare var stins.

unde va fi trimis la stația de însăcuire. Granulele mai mari sînt recirculate în camera de stingere.

Stingerea continuă se realizează în tamburi de stingere. O instalație de acest fel (fig. 5.12) constă din doi tamburi coaxiali dintre care cel interior, perforat, joacă rol de sită. Varul se alimentează continuu prin buncărul *1*, stropindu-se cu apa adusă de conducta *2*. Pulberea de var stins trece prin orificiile tamburului interior, se deplasează de-a lungul tamburului exterior *4* prevăzut cu palete *5* și se elimină printr-un orificiu 7. Granulele nestinse se elimină prin orificiul *6*.

În fig. 5.13 se prezintă schematic un flux tehnologic după care se obține, la unele fabrici din țara noastră, var hidratat prin stingerea varului în pulbere. Conform acestui flux, varul bulgări se concasează într-un concasor cu ciocane *1* la dimensiuni sub 10 mm, după care, cu un elevator *2* se transportă la buncărul *3*. De aici se dozează și ajunge la un malaxor *5*, în care are loc o primă etapă a procesului de stingere, în prezența apei calde. Procesul de hidratare a varului se desăvîrșește în hidratorul *6*, constînd din unul sau mai multe amestecătoare cu palete, prin care varul trece succesiv. În hidrator se menține o atmosferă saturată în umiditate (vapori de apă la tempe-

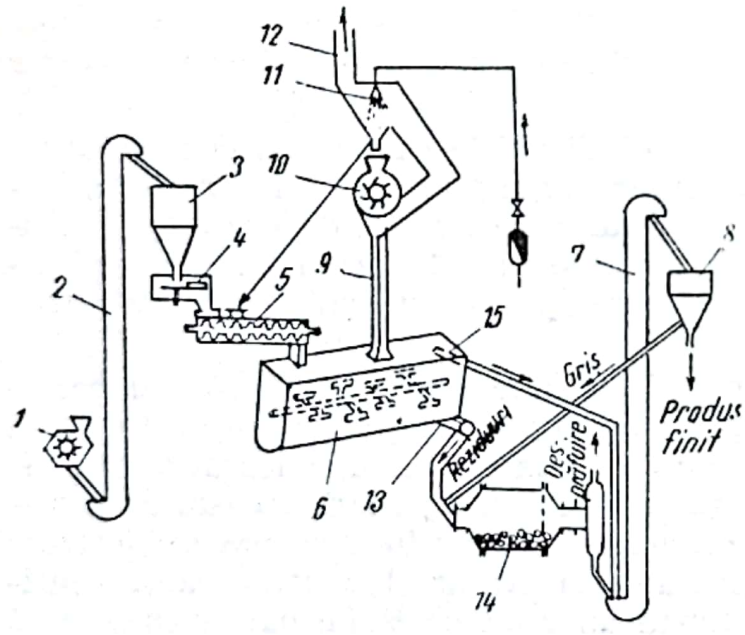


Fig. 5.13. Instalație pentru obținerea varului hidratat :

1 — concasor; *2* — elevator; *3* — buncăr; *4* — dozator cu disc; *5* — malaxor; *6* — hidrator; *7* — elevator; *8* — separator pneumatic; *9* — conductă; *10* — exhaustor; *11* — instalație de desprăfuire; *12* — coș; *13* — transportor elicoidal pentru granule nestinse; *14* — moară; *15* — evacuare var hidratat.

Scanned with OKEN Scanner

ratura de aproximativ 100 °C). Varul hidratat se evacuează la partea superioară a hidratorului, prin dispozitivul *15* și, prin intermediul unei conducte și al elevatorului *7*, ajunge la un separator pneumatic *8* unde particulele fine, stinse (constituind produsul final) se separă de eventualele particule nestinse antrenate. Acestea din urmă, împreună cu fracțiunea de granule nestinse separată în hidrator, se introduc într-o moară *14*. Produsul măcinat este dirijat spre separatorul pneumatic, iar aerul din moară, conținînd particule fine, este trimis spre o instalație de desprăfuire.

Vaporii de apă rezultați în hidratorul *6* sînt absorbiți într-o conductă *9* cu ajutorul unui exhaustor *10* și desprăfuiți prin pulverizare cu apă în instalația *11*. Apa conținînd particule de var se încălzește la aproximativ 90 °C și este trimisă la malaxorul *5* pentru hidratarea primară a varului. O asemenea instalație se caracterizează printr-o productivitate de aproximativ 16 t var hidratat pe oră.

5.3.3. CONTROLUL PRODUCȚIEI ȘI CALITĂȚII VARULUI

Controlul producției în fabricile de var implică controlul materiilor prime, al funcționării cuptorului de ardere și al calității varului obținut.

Controlul calității materiilor prime constă în determinarea umidității, a pierderii la calcinare și a compoziției oxidice a calcarului. Aceste determinări, efectuate prin metode fizico-chimice și chimice, permit cunoașterea purității calcarului, a naturii eventualelor impurități, deci a posibilității de a se obține din el un var de o anumită calitate.

Controlul funcționării cuptorului urmărește să asigure respectarea cu strictețe a condițiilor de funcționare pentru realizarea unei arderi corecte. Pentru aceasta se impune :

— controlul alimentării cu calcar și al evacuării varului ars ;
— controlul admisiei aerului și combustibilului ;
— controlul tirajului, al temperaturii și compoziției gazelor de ardere.

În cazul cuptoarelor moderne, controlul și reglarea acestor parametri se realizează automat.

Controlul calității varului presupune efectuarea unor determinări care să verifice în ce măsură varul obținut corespunde condițiilor impuse de standard.

Determinările care se efectuează în fabrici pe varul obținut urmăresc stabilirea calității acestuia și implicit a unor măsuri ce trebuie aplicate în vederea îmbunătățirii unor parametri necorespunzători.

Scanned with OKEN Scanner

În condițiile unor materii prime date, determinările de conținut de CaO activ, viteză de stingere și conținut în granule nestinse ale varului, dau indicații asupra modului de desfășurare a procesului de calcinare. Astfel, un conținut ridicat de oxid de calciu activ și o viteză de stingere mare indică o ardere corespunzătoare. Un conținut ridicat de CaO activ, asociat cu o viteză de stingere mică arată că varul a fost supraars, iar un conținut mic de CaO activ și o cantitate mare de granule nestinse, asociate cu o viteză de stingere corespunzătoare, indică o ardere insuficientă a calcarului.

Pentru varul măcinat, destinat betonului celular autoclavizat, este obligatorie verificarea fineței de măcinare, prin determinarea reziduului pe sita cu ochiuri de 90 μm. Pentru acest var se impun condițiile de calitate prezentate în tabelul 5.3 (STAS 9310-76).

Tabelul 5.3

Caracteristici	Valori admisibile
Oxid de calciu și de magneziu activi, % min	80
Oxid de magneziu, % max	5
Rest pe sita de 90 μm, % max	8
Durata de stingere, min	20—25
Temperatura finală de stingere, °C	55—60

Pentru varul hidratat se determină conținutul în oxizi activi (CaO+MgO), densitatea aparentă, granulozitatea, valorile limită admisibile fiind indicate în tabelul 5.4.

Tabelul 5.4

Caracteristici	Valori admisibile pentru calitatea	
	Superioară	I
Oxid de calciu și de magneziu activi, % min	70	65
Oxid de magneziu, % max	5	5
Umiditate, % max	3	5
Greutate volumică, N/m³	6 500	6 800
Rest pe sita de 90 μm, % max	10	15
Rest pe sita de 1 mm, % max	0	0
Constanța de volum	satisfăcătoare	

Scanned with OKEN Scanner

5.4. APLICAȚII

A. Pentru obținerea varului se folosește un calcar avînd un conținut de 94% $CaCO_3$ și 6% impurități, care au o pierdere la calcinare de 26%. Prin calcinare la 1 100 °C se obține var, în care impuritățile se regăsesc sub formă calcinată.

Să se determine :

a) compoziția procentuală în CaO și impurități a varului obținut ;

b) cantitatea de apă stoechiometrică necesară pentru hidratarea unui kg de var ;

c) conținutul procentual de $Ca(OH)_2$ al unui kg de var stins cu cantitatea de apă stoichiometric necesară.

Rezolvare :

a) Formarea varului are loc după reacția :

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

100 56 44

100 g $CaCO_3$ ... 56 g CaO

94 g $CaCO_3$ ... x $\quad x = 52{,}64$ g CaO

100 g impurități ... 74 g impurități solide

6 g ... y $\quad y = 4{,}44$ g impurități solide

(52,64 + 4,44) g var ... 52,64 g CaO ... 4,44 g impurități

100 g ..... x ..... y

$x = 92{,}22\%$ CaO ; $y = 7{,}78\%$ impurități.

b) Hidratarea varului are loc după reacția :

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

56 18 74

56 g CaO ... 18 g H_2O

922,2 g CaO ... x $\quad x = 296$ g H_2O

c) Din 1 kg var rezultă :

56 g CaO → 74 g $Ca(OH)_2$

922,2 g CaO ... x $\quad x = 1\,218{,}6$ g $Ca(OH)_2$

(1218,6 + 77,8) g var stins ... 1218,6 g $Ca(OH)_2$ ... 77,8 g impurități

100 g .... x ..... y

$x = 94\%$ $Ca(OH)_2$; $y = 6\%$ impurități.

B. O fabrică de var folosește ca materie primă calcar cu un conținut de 90% $CaCO_3$. Considerînd, pentru simplificare, că impuritățile conținute în calcar nu au pierderi la calcinare și se regăsesc integral în var, să se determine :

a) pierderea la calcinare a calcarului (în procente) ;

b) conținutul procentual în CaO al varului obținut ;

Scanned with OKEN Scanner

c) cantitatea de apă necesară pentru stingerea varului rezultat din 1 kg de calcar ;

d) conținutul procentual de $Ca(OH)_2$ din varul stins.

Răspunsuri :

a) P.C. = 39,6% ;

b) CaO = 83,4% ;

c) H_2O = 162 g ;

d) $Ca(OH)_2$ = 86,9%.

C. Într-o fabrică se cere să se producă 300 t var gras cu un conținut de minimum 90% CaO. Să se determine :

a) conținutul minim în $CaCO_3$ al calcarului utilizat dacă impuritățile nu au pierderi la calcinare ;

b) cantitatea de calcar necesară pentru fabricarea varului ;

c) cantitatea de apă stoichiometric necesară pentru stingerea a 50 kg din varul fabricat.

Răspunsuri :

a) 94,14% $CaCO_3$; b) 482,13 t calcar ; c) 14,46 kg apă.

Scanned with OKEN Scanner

6. LIANȚI PE BAZĂ DE IPSOS

6.1. DEFINIRE. TIPURI DE LIANȚI PE BAZĂ DE IPSOS

Lianţii pe bază de ipsos reprezintă lianţi aerieni care rezultă prin deshidratarea parţială sau totală a gipsului.

În funcţie de compoziţie, lianţii de ipsos se pot clasifica în modul următor :

Lianţi pe bază de semihidrat ($CaSO_4 \cdot 0{,}5\ H_2O$) :

— ipsosuri pe bază de semihidrat fără adaosuri :
  ipsos de construcţie obişnuit ;
  ipsos de construcţie de înaltă rezistenţă ;
  ipsos de modelaj ;
  ipsos sanitar ;

— ipsosuri mixte :
  ipsos cu adaos de var ;
  ipsos cu adaos de argilă ;
  ipsos cu adaos de zgură ;
  ipsos cu adaos de ciment.

Lianţi pe bază de anhidrit ($CaSO_4$) :

— ipsos pe bază de anhidrit fără adaosuri :
  ciment de anhidrit ;
  ipsos de pardoseală ;

— ipsosuri mixte :
  ipsos marmorean ;
  ipsos cu adaosuri hidraulic active.

Scanned with OKEN Scanner

6.2. PROCESE FIZICO-CHIMICE LA FORMAREA ȘI ÎNTĂRIREA LIANȚILOR PE BAZĂ DE IPSOS

6.2.1. DESHIDRATAREA GHIPSULUI

Procesul de deshidratare a ghipsului care conduce la formarea ipsosului începe la temperatura de aproximativ 70 °C. El decurge însă cu viteză importantă la temperaturi mai mari de 107 °C și poate fi considerat ca desfășurîndu-se în două etape, conform reacțiilor :

— formarea semihidratului :

$$CaSO_4 \cdot 2\,H_2O \underset{\leftarrow}{\overset{<170^\circ C}{\rightleftharpoons}} CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O + 1{,}5\,H_2O$$

— formarea anhidritului :

$$CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O \underset{\leftarrow}{\overset{\geq 170^\circ C}{\rightleftharpoons}} CaSO_4 + 0{,}5\,H_2O$$

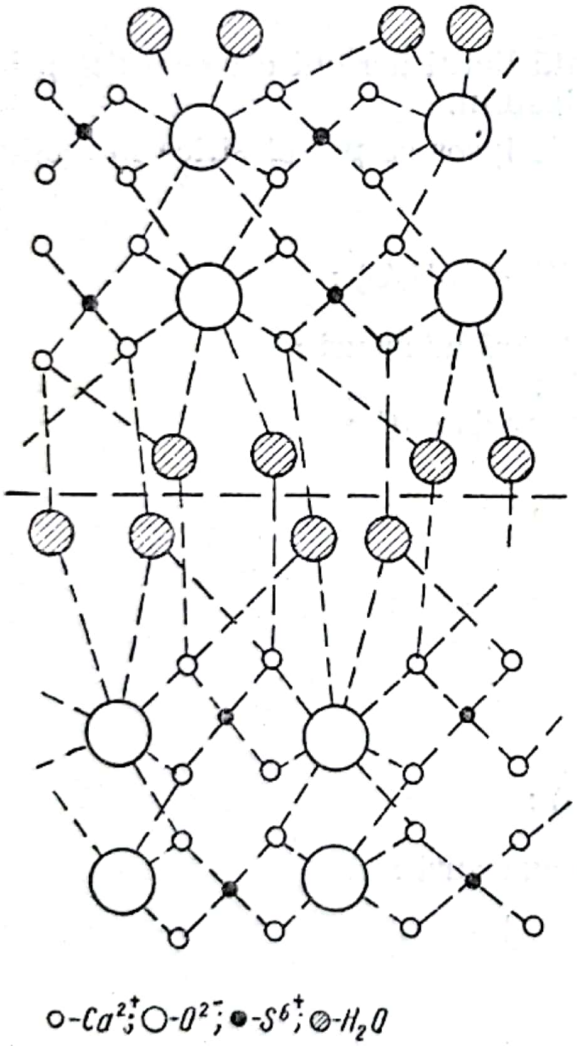


Fig. 6.1. Reprezentarea schematică a structurii $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$.

Nu se poate face o delimitare riguroasă între cele două etape ; de cele mai multe ori, ca produse ale deshidratării la temperaturi de pînă la 200—210 °C se obțin mase conținînd pe lîngă semihidrat, și cantități variabile de anhidrit.

Produșii de deshidratare rezultați în diferite condiții de tratament termic vor prezenta o reactivitate diferită față de apă, consecință a compactării progresive și a unor modificări structurale determinate de creșterea temperaturii.

Rețeaua cristalină a ghipsului constă din straturi de anioni SO_4^{2-} și cationi Ca^{2+}, care formează pachete legate între ele prin molecule de apă (fig. 6.1).

Prin încălzirea ghipsului are loc desprinderea unora din moleculele de apă, creîndu-se goluri în diferite zone ale rețelei cristaline și o anumită deranjare a echilibrului structural. Pentru restabilirea lui, elementele de rețea se vor regrupa, constituindu-se într-o nouă struc-

Scanned with OKEN Scanner

tură, a *semihidratului*. Prin creşterea temperaturii, moleculele de apă existente în semihidrat, care sînt situate la distanţe mari faţă de ionii Ca^{2+} şi SO_4^{2-} (comparativ cu distanţele dintre aceşti ioni), se elimină uşor, fără a deranja reţeaua cristalină. Se formează astfel, *anhidritul III*, asemănător ca structură şi reactivitate, cu semihidratul, fapt pentru care mai este denumit şi semihidrat deshidratat.

La temperaturi mai mari (300—700 °C), anhidritul III se transformă într-o nouă varietate — *anhidrit II*, caracterizat printr-o structură mai ordonată, mai stabilă în raport cu apa. Această varietate stă la baza obţinerii cimentului de anhidrit.

Ridicarea temperaturii de calcinare conduce la descompunerea parţială a $CaSO_4$, cu formarea unui produs care conţine CaO, $CaSO_4$ şi un sulfat bazic de calciu — $mCaO \cdot CaSO_4$. Acesta stă la baza obţinerii ipsosului de pardoseală.

Depăşirea temperaturii de 1 200 °C conduce la obţinerea unei varietăţi de anhidrit total inert în raport cu apa (ca urmare a compactării reţelei cristaline) — *anhidritul I*.

6.2.2. ÎNTĂRIREA LIANŢILOR PE BAZĂ DE IPSOS

Procesul de întărire a lianţilor de ipsos pe bază de semihidrat sau anhidrit are loc ca urmare a hidratării acestor compuşi, cu formare de bihidrat, conform reacţiilor :

$$CaSO_4 \cdot 0{,}5\ H_2O + 1{,}5\ H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$$

$$CaSO_4 + 2\ H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$$

În ansamblu, procesul de întărire a lianţilor de ipsos poate fi considerat ca rezultat al următoarelor procese fizice şi chimice : dizolvarea în apă a liantului anhidru, hidratarea semihidratului sau anhidritului cu formare de bihidrat, cristalizarea acestuia, creşterea şi împîslirea cristalelor cu formarea unei structuri de întărire rezistente.

Procesul de hidratare a semihidratului şi a anhidritului este influenţat în măsură importantă de acei factori care modifică fie solubilitatea semihidratului, anhidritului şi bihidratului, fie viteza reacţiei de hidratare sau pe cea a procesului de cristalizare a $CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$.

Solubilitatea ipsosului şi viteza lui de hidratare sînt influenţate în sensul creşterii lor de creşterea fineţei de măcinare a liantului. În acelaşi sens influenţează şi prezenţa în sistem a unor substanţe ca : NaCl, $MgCl_2$, Na_2SO_4, K_2SO_4, $NaNO_3$, HNO_3 etc. Adaosuri de acid boric, săruri ale lui, Na_2CO_3, Na_2SiO_3, K_2SiO_3, glicerină, gelatină, gumă arabică, clei, soluţii de zahăr încetinesc procesul de hidratare al ipsosului.

Scanned with OKEN Scanner

Creşterea temperaturii sistemului ipsos-apă pînă la 40—60 °C determină o solubilitate mai mare a semihidratului şi o viteză mai mare de hidratare a sa, deci o intensificare a procesului de hidratare în ansamblu. Temperaturi mai mari de 60 °C conduc la încetinirea sau chiar oprirea procesului de hidratare.

Întărirea cimentului de anhidrit şi a ipsosului de pardoseală prezintă unele particularităţi şi un grad crescut de complexitate, datorită compoziţiei diferite a acestor lianţi.

6.3. IPSOS PE BAZĂ DE SEMIHIDRAT FĂRĂ ADAOSURI

6.3.1. FORME POLIMORFE ALE IPSOSULUI SEMIHIDRAT. CONDIŢII DE OBŢINERE. PROPRIETĂŢI SPECIFICE

Ipsosul semihidrat prezintă două forme polimorfe — α şi β, care se obţin prin deshidratarea ghipsului la temperaturi ce nu diferă sensibil pentru o modificaţie sau alta, dar în timp ce β-semihidratul se obţine prin încălzirea ghipsului în atmosferă obişnuită, formarea α-semihidratului presupune existenţa apei lichide în mediul de deshidratare. În aceste condiţii se asigură o deshidratare menajată a ghipsului, care permite formarea unor cristale regulate, bine dezvoltate, caracteristice pentru α-semihidrat. În absenţa fazei lichide din mediul de deshidratare, are loc o deshidratare mai brutală, produsul ce se formează constînd din cristale mai mici, sfărîmicioase.

Structura diferită a formelor α şi β-semihidrat generează şi proprietăţi diferite la aceste două forme. În primul rînd, cantitatea de apă pentru obţinerea pastei de consistenţă normală este mai mare în cazul β-semihidratului, iar rezistenţele mecanice ale β-semihidratului sînt inferioare mult celor ale α-semihidratului. Ca urmare a cantităţii diferite de apă necesară pentru prepararea pastei de consistenţă normală, α-semihidratul se prezintă după întărire, ca un material compact, foarte rezistent, în timp ce β-semihidratul întărit se caracterizează printr-o porozitate importantă. Ca urmare a acestor proprietăţi superioare ale α-semihidratului, el constituie componentul principal al ipsosului de înaltă rezistenţă.

6.3.2. METODE DE FABRICARE A IPSOSULUI SEMIHIDRAT

Ipsosul pe bază de semihidrat se poate obţine prin diferite metode, în funcţie de forma de semihidrat pe care trebuie să-l conţină, de succesiunea operaţiilor constituente ale fluxului tehnologic, de tipul utilajului folosit pentru deshidratare.

Scanned with OKEN Scanner

În funcție de forma de semihidrat pe care ipsosul trebuie să o conțină, se pot considera două categorii de metode pentru obținerea lianților de ipsos pe bază de semihidrat :

— metode prin care deshidratarea ghipsului se realizează în absența fazei lichide, la presiunea atmosferică (ardere uscată), rezultînd un produs bogat în β-semihidrat ;

— metode prin care deshidratarea ghipsului se face în prezența apei, la presiune atmosferică sau mai mare decît aceasta (ardere umedă), obținîndu-se un produs bogat în α-semihidrat.

6.3.2.1. **Fabricarea ipsosului din ghips, prin deshidratarea în absența fazei lichide.** Obținerea ipsosului semihidrat prin această categorie de metode presupune desfășurarea, într-o anumită succesiune, a următoarelor două etape : mărunțirea ghipsului sau a ipsosului, deshidratarea. În funcție de tipul utilajului folosit pentru deshidratare, se pot menționa mai multe scheme tehnologice de obținere a semihidratului :

— concasare-măcinare-deshidratare ;
— concasare-uscare-măcinare-deshidratare ;
— concasare-măcinare-deshidratare-măcinare ;
— uscare-măcinare-deshidratare ;
— concasare-uscare-măcinare-deshidratare-măcinare ;
— concasare-deshidratare-măcinare ;
— măcinare și deshidratare concomitentă.

În fig. 6.2 se prezintă o schemă a fluxului tehnologic de fabricare a ipsosului prin *deshidratarea ghipsului în prealabil fin măcinat*, folosind ca utilaj de deshidratare fierbătorul.

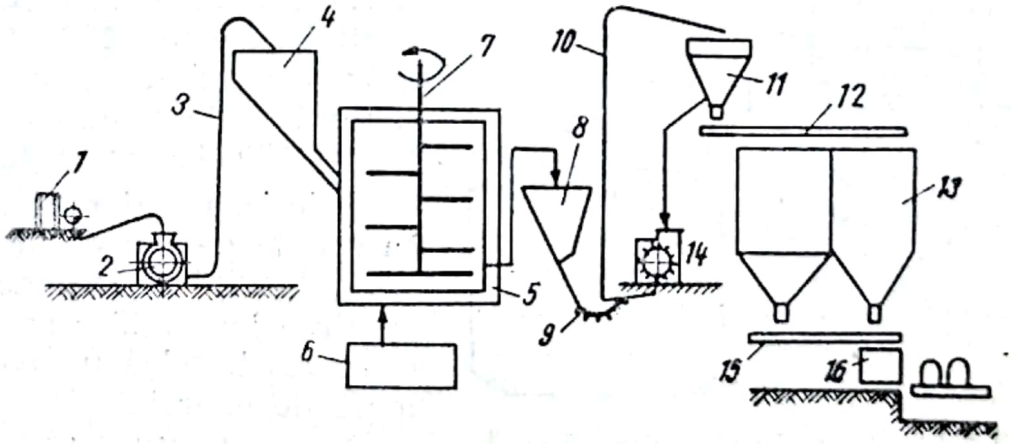


Fig. 6.2. Schema fluxului tehnologic de fabricare a ipsosului prin deshidratare în fierbător :

1 — concasor; *2* — moară; *3* — elevator; *4* — buncăr de alimentare; *5* — fierbător; *6* — focar; *7* — agitator; *8* — buncăr de maturizare; *9, 1 2,15* — transportor cu melc; *10* — elevator; *11* — separator; *13* — silozuri de ipsos; *14* — moară de ipsos; *16* — instalație de însăcuire.

Scanned with OKEN Scanner

Ghipsul adus din carieră este concasat într-un concasor cu valțuri *1* și apoi mărunțit fin într-o moară *2*, după care un elevator *3* îl transportă în buncărul *4*, care alimentează fierbătorul *5*. Acesta reprezintă un recipient avînd înălțimea de 1—1,5 m și diametrul de aproximativ 2 m, încălzit prin manta de gazele rezultate prin arderea combustibilului într-un focar *6*. Un agitator *7* realizează amestecarea continuă a ghipsului din fierbător. Deshidratarea are loc în condițiile unor temperaturi de 160—180 °C. Materialul rezultat conține în principal semihidrat, alături de cantități mici de anhidrit și eventual, ghips nedeshidratat. Pentru uniformizarea compoziționalã a produsului, acesta este trecut într-un buncăr etanș *8* unde are loc așa-numita „maturizare" a sa : pe seama căldurii cedată prin răcire are loc deshidratarea bihidratului existent, iar vaporii de apă rezultați vor hidrata relativ ușor anhidritul existent sub forma reactivă de anhidrit III. Ipsosul este transportat apoi de un șnec *9* și un elevator *10* la un separator cu aer *11*, iar de aici, ipsosul fin este luat de un șnec de distribuție *12* care alimentează silozurile *13*. Fracțiunea grosieră separată în separatorul *11* este introdusă pentru măcinare într-o moară *14*, de unde este recirculată din nou în separator.

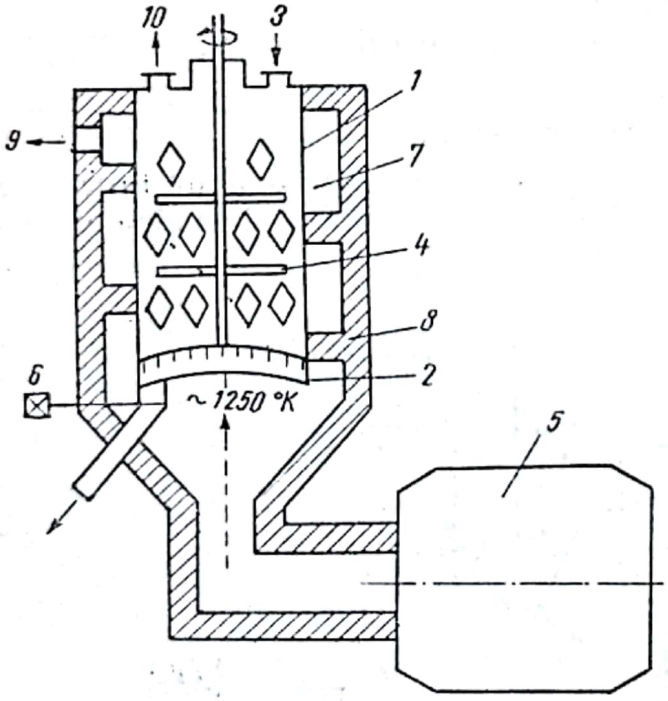


Fig. 6.3. Fierbător pentru deshidratarea ghipsului :

1 — cilindru din oțel; *2* — fund din fontă turnată; *3* — alimentare cu ghips; *4* — agitator; *5* — generator de gaze calde; *6* — registru; *7* — canal pentru gaze; *8* — zidărie refractară; *9* — evacuarea gazelor; *10* — evacuarea apei rezultate la deshidratare.

În fig. 6.3 se prezintă schița unui fierbător cu palete de omogenizare, pentru deshidratarea ghipsului.

Fierbătoarele se caracterizează, în general, prin productivități de 500—800 kg ipsos/m^3·h și un consum de căldură de aproximativ 1 600—1700 kJ/kg produs.

Folosirea fierbătoarelor ca utilaje pentru deshidratarea ghipsului presupune mărunțirea înaintată a acestuia, ceea ce implică un consum mare de energie.

În cazul utilizării cuptoarelor rotative sau verticale pentru deshidratarea ghipsului, se poate aplica schema tehnologică conform căreia

Scanned with OKEN Scanner

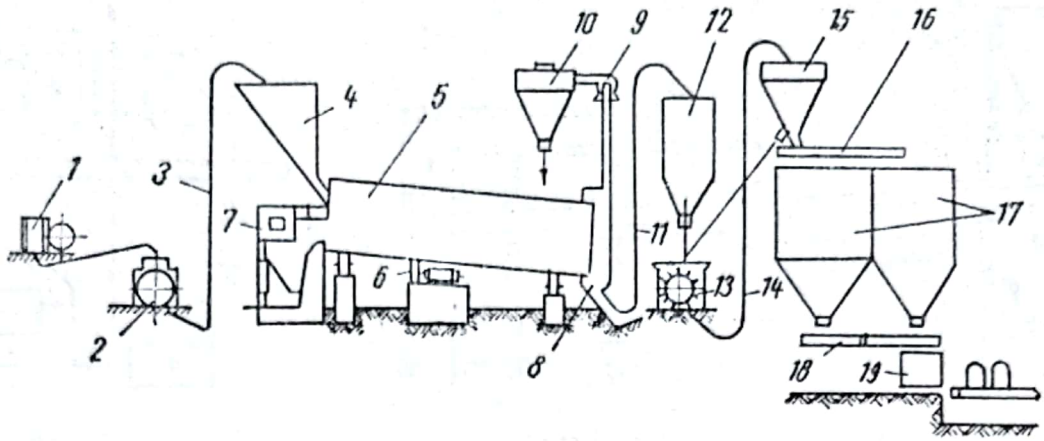


Fig. 6.4. Schema fluxului tehnologic pentru fabricarea ipsosului prin deshidratarea ghipsului în cuptor rotativ :

1 — concasor; *2* — moară cu ciocane; *3, 11, 14* — elevator; *4* — buncăr de alimentare; *5* — cuptor rotativ; *6* — motor de antrenare a cuptorului; *7* — focar; *8* — gură de evacuare; *9* — exhaustor; *10* — instalație de desprăfuire; *12* — buncăr de alimentare a morii; *13* — moară; *15* — separator pneumatic; *16, 18* — transportor cu melc; *17* — silozuri; *19* — mașină de însăcuit.

măcinarea se face după deshidratare. Aceasta face ca energia consumată pentru măcinare să fie sensibil mai mică (de aproximativ două ori), dată fiind aptitudinea la măcinare mai bună a ipsosului în comparație cu gipsul.

În fig. 6.4 se prezintă o schemă a fluxului tehnologic de fabricare a ipsosului semihidrat, folosind ca agregat de deshidratare cuptorul rotativ.

Ghipsul este concasat inițial într-un concasor *1* și apoi mărunțit la dimensiuni mai mici de 25 mm într-o moară cu ciocane *2*. După aceasta, cu ajutorul elevatorului *3* este transportat în buncărul *4* de alimentare a cuptorului rotativ *5*. Deshidratarea ghipsului se realizează prin căldura cedată de gazele ce vin de la focarul *7* și care circulă în echicurent cu materialul. Materialul deshidratat este evacuat din cuptor prin gura de evacuare *8*, iar gazele de ardere sînt trimise prin exhaustorul *9* la instalația de desprăfuire *10*. Ipsosul este transportat cu un transportor cu cupe *11* la un buncăr *12*, care alimentează moara *13*. Ipsosul măcinat este trimis prin elevatorul *14* la un separator cu aer *15*, de unde fracțiunea grosieră este recirculată în moară, iar fracțiunea fină este dirijată printr-un transportor cu melc (șnec) *16* la silozurile *17*, iar de aici printr-un alt transportor cu melc *18* la mașina de însăcuit *19*.

Cuptorul rotativ pentru deshidratarea ghipsului, cu dublă circulație a gazelor, este prezentat în fig. 6.5.

Obținerea ipsosului în instalații care asigură *deshidratarea și măcinarea concomitentă a ghipsului* constituie un procedeu nou de fabri-

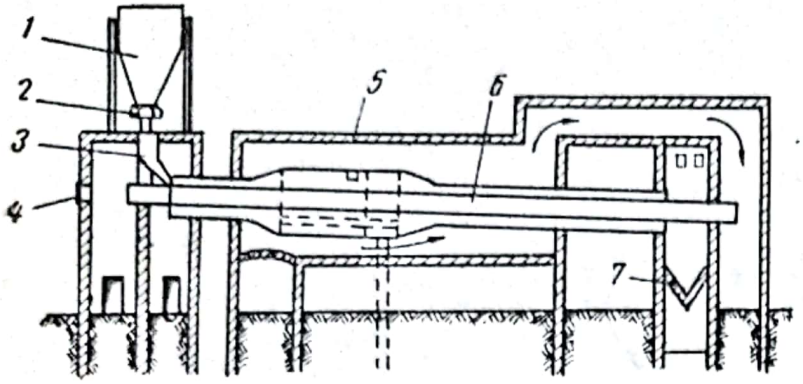


Fig. 6.5. Cuptor rotativ pentru deshidratarea gipsului

1 — buncăr de alimentare; *2* — dozator; *3* — jgheab de alimentare; *4* — gură de vizitare; *5* — cuptor; *6* — conductă de circulație a gazelor; *7* — gură de evacuare a ipsosului.

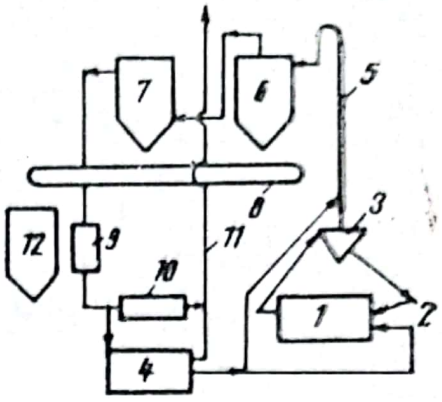


Fig. 6.6. Instalație pentru obținerea ipsosului prin măcinare și deshidratare concomitentă :

1 — moară; *2* — jgheab de alimentare; *3* — separator; *4* — cameră de gaze calde; *5* — conductă de deshidratare; *6* — ciclon; *7* — electrofiltru; *8* — bandă colectoare; *9* — exhaustor; *10* — cameră de evacuare; *11* — coș; *12* — siloz ipsos.

cație care conduce la un produs uniform deshidratat. O instalație folosită în acest scop (similară celei pentru prelucrarea combustibilului solid) este prezentată în fig. 6.6.

Ghipsul concasat grosier, avînd dimensiuni de 50—60 mm, este adus în moara cu bile *1* prin jgheabul de alimentare *2*. În moară vin, de asemenea, gaze calde cu temperatura de 400—600 °C din generatorul de gaze *4*. În moară se realizează măcinarea ghipsului și deshidratarea lui parțială, după care materialul este trecut în separatorul *3*, unde are loc separarea materialului grosier care este reintrodus în moară, de materialul fin măcinat care este antrenat mai departe de curentul de gaze calde în conducta *5* care are diametrul de 0,5—0,6 m. Aici are loc deshidratarea completă a ghipsului. Ipsosul rezultat, împreună cu gazele, trec în ciclonul *6*, iar apoi, gazele care mai conțin o cantitate de praf, trec în electrofiltrul *7*. Ipsosul este colectat de transportorul cu bandă *8* și depozitat în silozul *12*. Gazele calde (120—180 °C) sînt luate de exhaustorul *9* și trimise parțial în camera *4*, parțial la coșul *11*, prin intermediul camerei de evacuare *10*.

Instalația se caracterizează prin :

— consum de combustibil aproximativ 1 200 kJ/kg ipsos ;
— consum de energie la măcinare 15—20 kWh/t ipsos ;
— productivitate 3—8 t/h.

6.3.2.2. **Fabricarea ipsosului prin deshidratarea ghipsului în prezența fazei lichide.** Deshidratarea ghipsului în prezența fazei lichide

Scanned with OKEN Scanner

conduce, așa cum s-a menționat anterior, la obținerea unui ipsos cu conținut ridicat de α-semihidrat, caracterizat prin rezistențe mecanice mult superioare ipsosului pe bază de β-semihidrat.

Pentru realizarea deshidratării ghipsului în asemenea condiții se pot folosi :

— instalații ermetic închise în care se realizează o presiune mai mare decît presiunea atmosferică ;

— instalații în care deshidratarea se face în incinte deschise, la presiunea atmosferică.

Pentru *deshidratarea ghipsului în condiții de presiune ridicată* se folosesc autoclave și autofierbătoare, în care se realizează presiuni de 1,2—1,6 at.

Procedeele de deshidratare a ghipsului în autoclavă presupun menținerea acestuia în condițiile unei presiuni de 1,2—1,6 at timp de 5—8 ore, urmată de uscarea semihidratului rezultat, tot în autoclavă, la temperatura de 200 °C, timp de 3—3,5 ore.

În fig. 6.7 se prezintă o schemă a fluxului tehnologic de obținerea ipsosului de înaltă rezistență, prin deshidratarea ghipsului în autoclavă.

Ghipsul este concasat cu un concasor cu ciocane *1*, după care se transportă cu benzile transportoare *2* la un ciur *3*, care separă fracțiunea fină de cea grosieră. Fracțiunea de ghips cuprinsă între 15 și 60 mm este trecută într-un buncăr *4* de unde este transportată cu elevatorul *5* la o bandă *6* de alimentare a buncărelor *7*. Acestea alimentează autoclavele *8*. În autoclave, ghipsul este menținut 7—8 ore la presiunea de 1,3 at și temperatura corespunzătoare vaporilor saturați (124 °C). După această perioadă se elimină din autoclavă apa rezultată și se începe uscarea, cu ajutorul unui curent de gaze calde.

Ipsosul rezultat este colectat în camera de colectare *9* și este transportat, cu ajutorul benzii *10* și al elevatorului *11*, în buncărul *12*.

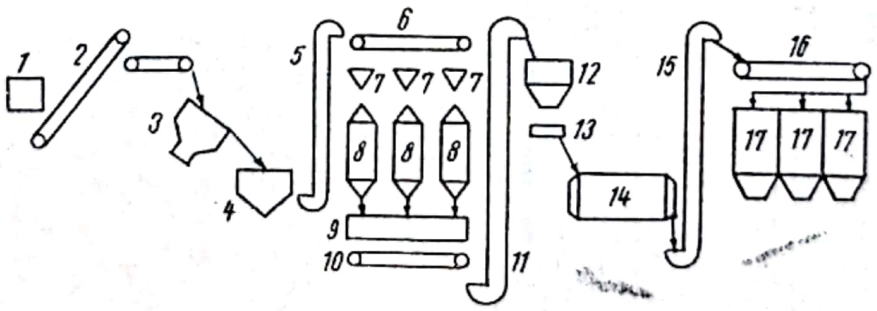


Fig. 6.7. Schema fluxului tehnologic de fabricare a ipsosului prin deshidratarea ghipsului în autoclavă :
1 — concasor; *2*, *6*, *10*, *16* — benzi transportoare; *3* — ciur vibrator; *4*, *7*, *12* — buncăre; *5*, *11*, *15* — elevatoare; *8* — autoclave; *9* — cameră colectoare; *13* — dozator; *14* — moară; *17* — silozuri de ipsos.

Scanned with OKEN Scanner

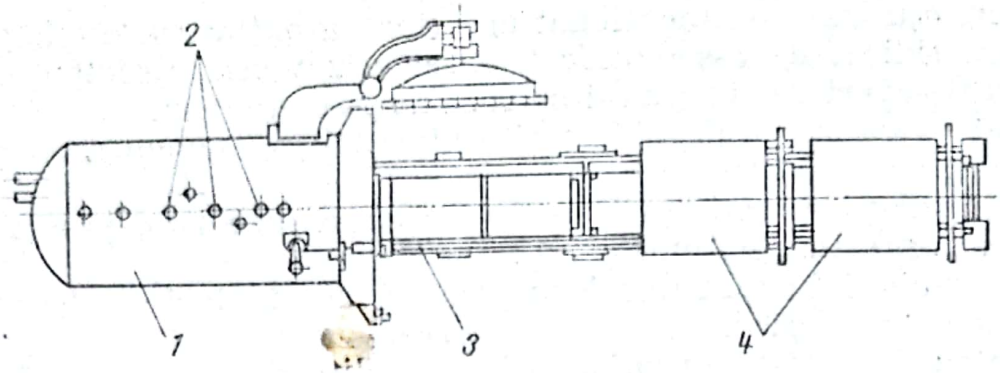


Fig. 6.8. Autoclavă orizontală :
1 — corpul autoclavei; *2* — racord la rețeaua de aburi; *3* — șină; *4* — cărucioare.

Din buncăr, prin intermediul dozatorului *13*, ipsosul este introdus în moara *14*. Ipsosul măcinat este preluat de un elevator *15* și, cu o bandă distribuitoare *16*, este introdus în silozurile *17*.

Figura 6.8 prezintă o autoclavă orizontală pentru deshidratarea ghipsului.

În fig. 6.9 este arătat un autofierbător pentru deshidratarea ghipsului. El este prevăzut cu țevi verticale prin care circulă gaze calde

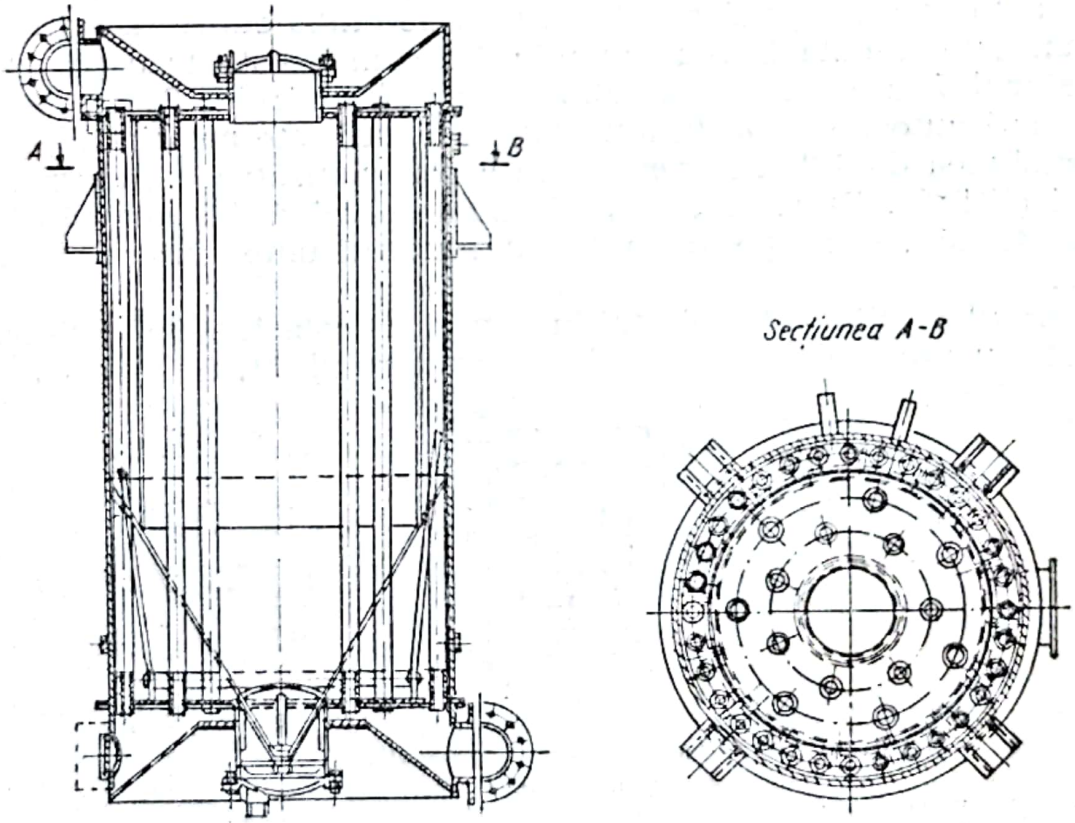


Fig. 6.9. Fierbător pentru deshidratarea ghipsului.

care încălzesc granulele de ghips (de 10—15 mm) la 124 °C, presiunea fiind de 1,3 at. Obținerea ipsosului semihidrat în autofierbătoare presupune realizarea mediului umed în spațiul de deshidratare numai prin apa pe care o eliberează ghipsul la deshidratare. Uscarea ipsosului se face tot în fierbător, fără presiune, la temperatura de 160 °C.

Obținerea ipsosului de înaltă rezistență în instalații cu presiune ridicată are ca principal dezavantaj funcționarea discontinuă a acestora. Este posibilă obținerea ipsosului cu conținut predominant de α-semihidrat în *condiții de presiune atmosferică,* prin procedee cu funcționare continuă. Un astfel de procedeu este, de exemplu, acela care presupune încălzirea la 105—110 °C a ghipsului fin măcinat (sub 0,1 mm) pe o baie de săruri higroscopice — $CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, $MgCl_2$.

6.3.2.3. **Fabricarea ipsosului din fosfoghips.** Folosindu-se ca materie primă fosfogipsul, este posibilă obținerea atît a β cît și α-semihidratului. În fig. 6.10 și 6.11 se prezintă schemele unor fluxuri tehnologice de fabricare a ipsosului cu conținut predominant de β, respectiv α-semihidrat, folosind fosfoghips.

Conform schemei din fig. 6.10 fosfoghipsul se amestecă cu o cantitate de apă într-un amestecător *1* pentru a se îndepărta (prin spălare) impuritățile solubile. Prin intermediul unei pompe *2* șlamul se trimite la o instalație de filtrare *3* unde conținutul de apă se reduce la 16—18%. Fosfoghipsul astfel rezultat este preluat de banda transportoare *4* și dus la instalația de deshidratare — cuptorul rotativ *5*. Gazele din cuptor sînt trecute printr-o instalație de desprăfuire — bateria de cicloane *6* și electrofiltrul *7*, după care se elimină în atmosferă. Pulberea separată, împreună cu ipsosul din cuptor, se transportă cu un transportor cu bandă *8* la un siloz de maturizare *9* și apoi la moara *10*. Ipsosul măcinat este transportat cu o bandă *11* și un elevator *12* la silozul de depozitare *13*.

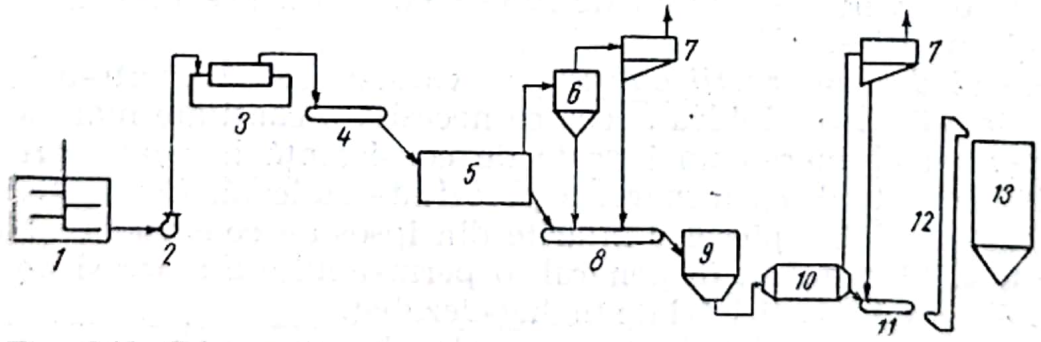


Fig. 6.10. Schema fluxului tehnologic de obținere a ipsosului cu conținut predominant de β-semihidrat, folosind ca materie primă fosfoghips:

1 — amestecător; *2* — pompă; *3* — instalație de filtrare; *4, 8, 11* — benzi transportoare; *5* — cuptor; *6* — ciclon; *7* — electrofiltru; *9* — siloz de maturizare; *10* — moară; *12* — elevator; *13* — siloz de depozitare ipsos.

Scanned with OKEN Scanner

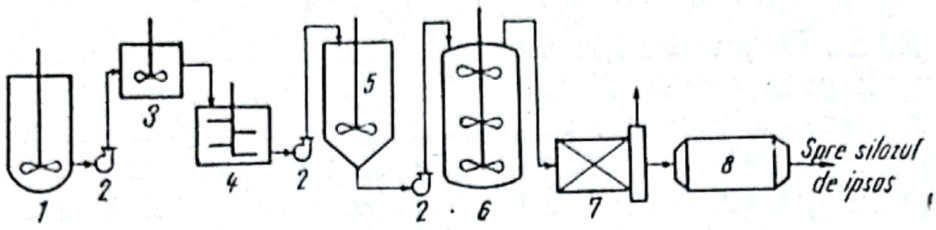


Fig. 6.11. Schema fluxului tehnologic de fabricare a ipsosului cu conținut predominant de α-semihidrat, folosind ca materie primă fosfoghipsul :

1 — amestecător; *2* — pompă; *3* — instalație de flotație; *4* — bazin; *5* — turn de spălare; *6* — autoclavă; *7* — instalație de centrifugare; *8* — moară.

Pentru fabricarea ipsosului cu conținut predominant de α-semihidrat, folosind ca materie primă fosfoghipsul (v. schema din fig 6.11), acesta se spală într-un amestecător *1* pentru solubilizarea impurităților solubile, după care cu o pompă *2* se transportă la o instalație de flotație *3* unde se separă impuritățile insolubile și apoi se trece în bazinul *4*. Cu o pompă, șlamul de fosfoghips se trimite la un turn *5* unde se face o ultimă spălare cu apă caldă (90 °C), spre a înlătura urmele de impurități. Materialul se supune deshidratării în autoclava *6*, după care se trimite la o instalație de centrifugare *7* și apoi la moara *8*, de unde, după măcinare, se transportă la silozurile de depozitare *9*.

6.3.3. PROPRIETĂȚILE IPSOSURILOR PE BAZĂ DE SEMIHIDRAT. ÎNTREBUINȚĂRI

Lianții de ipsos pe bază de semihidrat sînt lianți aerieni. Principalele lor caracteristici sînt : finețea de măcinare, timpul de priză, rezistențele mecanice. În funcție de destinația pe care o au — ca ipsos de construcție obișnuit, ipsos de înaltă rezistență, ipsos de modelaj, ipsos sanitar — lianții de ipsos semihidrat prezintă unele proprietăți specifice.

Ipsosul de construcții obișnuit se caracterizează printr-un conținut ridicat de β-semihidrat, ceea ce necesită o cantitate mai mare de apă, pentru obținerea unei paste de consistență normală, produsul întărit prezentînd, ca urmare, o porozitate ridicată. Conductivitatea termică și fonică a pieselor întărite din ipsos de construcție obișnuit este mică. El prezintă în general, o permeabilitate mare și deci rezistență redusă la solicitări de îngheț-dezgheț.

Rezistența la compresiune a ipsosului de construcții obișnuit după 7 zile de întărire reprezintă marca acestui liant. Ea variază între 60 și 100 daN/cm^2, pentru un conținut de 65—90% β-semihidrat.

În tabelul 6.1 se prezintă principalele caracteristici tehnice ale ipsosului de construcții.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.1

Caracteristici	Calitatea ipsosului de construcție		
	I	II	III
Priza, pe pastă de consistență normală :			
începutul prizei, min	5	5	4
sfîrșitul prizei minimum, min	10	10	6
maximum, min	30	30	30
Finețea de măcinare : rest pe sita 0,71 (% max.)	2	2	4
rest pe sita 0,2 (% max.)	15	15	17
Rezistență la încovoiere :			
după 2 ore, min, daN/cm²	18	15	10
după 7 zile, min., daN/cm²	35	30	20
Rezistența la compresiune :			
după 2 ore, min., daN/cm²	40	35	30
după 7 zile, min., daN/cm²	90	80	70
Conținutul în semihidrat, % min.	90	75	65

Ipsosul de construcții de înaltă rezistență se caracterizează printr-un conținut predominant de α-semihidrat, ceea ce face ca el să necesite o cantitate mai mică de apă pentru pasta de consistență normală și să prezinte după întărire o porozitate mai mică decît ipsosul de construcții obișnuit. Rezistențele mecanice ale ipsosului întărit sînt mult mai bune, putînd ajunge după 7 zile la valori maxime de 400 daN/cm² (compresiune). Aceste proprietăți fac ca ipsosul de înaltă rezistență să poată fi utilizat în industria prefabricatelor.

Ipsosul de modelaj reprezintă varietatea de ipsos semihidrat care se folosește pentru confecționarea formelor de turnare în industria ceramică. Acest sortiment de ipsos trebuie să prezinte anumite caracteristici în ceea ce privește finețea de măcinare, timpul de priză, rezistențele mecanice (tabelul 7.2).

Tabelul 6.2

Caracteristici	Calitatea ipsosului de modelaj :		
	I	II	III
Conținutul de $CaSO_4 \cdot 0{,}5\ H_2O$, % min.	92	87	82
Culoarea	alb	alb	alb
Gradul de alb, % min.	78	—	—
Finețe de măcinare, % max. $R_{0{,}71}$	0	0,1	0,2
$R_{0{,}2}$	2,5	2,5	4,0

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.2 (continuare)

Caracteristici	Calitatea ipsosului de modelaj:		
	I	II	III
Timp de priză (minute):			
începutul prizei, min	8	8	6
sfîrșitul prizei, max.	20	20	20
min.	12	10	10
Rezistența mecanică, daN/cm²:			
încovoiere, după 2 ore	25	25	20
după 7 zile	45	45	35
compresiune, după 2 ore	50	50	40
după 7 zile	100	100	90

Ipsosul sanitar este ipsosul semihidrat folosit pentru confecționarea pansamentelor de ipsos și tiparelor dentare. Aceste utilizări impun ca ipsosul să aibă o finețe de măcinare înaintată (reziduul pe sita cu ochiuri de 0,2 mm să nu depășească 2%), o priză mai rapidă (începutul de priză să nu fie mai devreme de 4 min iar sfîrșitul de priză să nu depășească 10 min); rezistența la tracțiune, după ce proba atinge greutate constantă, trebuie să fie de cel puțin 14 daN/cm.

6.4. LIANȚI UNITARI PE BAZĂ DE ANHIDRIT

6.4.1. CIMENT DE ANHIDRIT

Cimentul de anhidrit este liantul aerian care se obține fie din ghips prin calcinare la 300—700 °C, fie din anhidrit natural. Prin calcinarea ghipsului la aceste temperaturi rezultă anhidritul II, inert în raport cu apa; în prezența unor adaosuri de var, săruri, acizi sau baze, acesta capătă însă proprietăți liante. Cele mai uzuale adaosuri activatoare sînt varul sau dolomita calcinată (în proporție de 3—5%), sulfatul sau bisulfatul de sodiu (în cantitate de 1—3%) și cenușa de termocentrală (10%).

Procesul tehnologic de fabricare a cimentului de anhidrit este în general simplu și cuprinde ca principale faze deshidratarea ghipsului și măcinarea anhidritului. În cazul folosirii anhidritului natural, totul se reduce la măcinarea acestuia cu adaosurile activatoare, la o finețe corespunzătoare cu cea a cimentului portland.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul folosirii ghipsului ca materie primă, utilajul principal în flux îl constituie cuptorul în care acesta se deshidratează. Cuptoarele folosite în acest scop sînt cuptoare verticale sau rotative. Pentru arderea în cuptor vertical, ghipsul trebuie doar concasat la 50—150 mm, în timp ce în condițiile deshidratării în cuptoare rotative, el trebuie mărunțit la dimensiuni mai mici, cuprinse între 25 și 40 mm.

În fig. 6.12 se prezintă schema fluxului tehnologic de fabricare a cimentului de anhidrit din ghips, folosind ca agregat de deshidratare cuptorul vertical. Temperatura de deshidratare este de 600—700 °C, materialul menținîndu-se la această temperatură timp de 3—4 ore.

Ghipsul concasat și sortat este transportat din hala de ghips *1* cu ajutorul transportorului *2* și alimentatorului *3* în cuptorul vertical *4* unde are loc deshidratarea cu formare de anhidrit. Anhidritul rezultat este transportat cu transportorul elicoidal *5* la concasorul *6* și parțial la concasorul *6′*. Materialul concasat în concasorul *6* este luat cu elevatorul *7* și dus la buncărul *8*. În hala *9* se depozitează adaosurile activatoare — sulfat acid de sodiu ($NaHSO_4$) și uneori sulfat de fier — $Fe_2(SO_4)_3$, ultimul adăugîndu-se în cantitate mică. Din hală, aceste săruri sînt trecute în uscătorul *10* și apoi în concasorul *6′* unde se concasează împreună cu o cantitate de anhidrit, pentru o mai bună amestecare a lor. Din concasor, amestecul este dirijat cu elevatorul *11* în buncărele *12*. În amestec, raportul anhidrit/săruri trebuie să fie aproximativ *10*. Pentru o mai bună amestecare, anhidritul și sărurile sînt trecute în continuare în amestecătorul elicoidal *13* de unde, prin intermediul unui alt elevator *14*, amestecul este dus în buncărele *15* și *16*. Anhidritul din buncărul *8* și amestecul anhidrit+

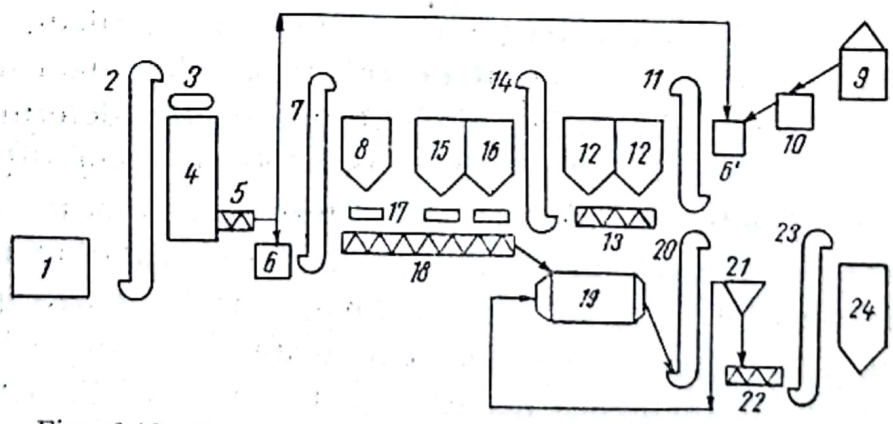


Fig. 6.12. Schema fluxului tehnologic de fabricare a cimentului de anhidrit:

1 — hală de ghips; *2* — elevator; *3* — bandă de alimentare; *4* — cuptor vertical; *5, 13, 18* — transportoare elicoidale; *6, 6′* — concasoare; *7, 11, 14, 20, 23* — elevatoare; *8* — buncăr anhidrit; *9* — hală adaosuri; *10* — uscător; *12, 15, 16* — buncăre amestec anhidrit+adaosuri; *17* — dozatoare; *19* — moară; *21* — buncăr; *24* — siloz ciment de anhidrit.

Scanned with OKEN Scanner

sare din buncărele *15* și *16* sînt dozate prin intermediul dozatoarelor *17* în moara *19*. Cantitatea de sare raportată la cantitatea de amestec nu trebuie să depășească 3%. În moara *19* se realizează măcinarea înaintată și o bună omogenizare a liantului. Produsul măcinat este transportat cu elevatorul *20* la separatorul *21*, unde se separă pe fracțiuni : fracțiunea grosieră este recirculată în moară, iar fracțiunea fină este dusă cu transportorul *22* și elevatorul *13* la silozul de ciment de anhidrit *24*.

Cimentul de anhidrit este un liant cu întărire lentă, mortarele de compoziție anhidrit/agregat = 1 : 3 ating după 7 zile de întărire, rezistențe la compresiune de 50—200 daN/cm^2. Mortarele cu dozaj mare de liant (anhidrit/agregat = 1 : 1 . . . 1 : 3) se caracterizează prin adeziune bună la piatra de construcții, impermeabilitate bună și deci rezistențe bune la solicitări de îngheț-dezgheț.

Date fiind aceste caracteristici ale sale, cimentul de anhidrit se poate folosi la prepararea mortarelor de zidărie necesare în construcții supuse unor solicitări nu prea mari (coloane, reazeme, structuri interioare), la obținerea unor elemente prefabricate din beton.

6.4.2. IPSOS DE PARDOSEALĂ

Ipsosul de pardoseală, denumit și ipsos de temperatură înaltă, este liantul ce se obține prin calcinarea ghipsului la temperaturi de 900—1 000 °C. În aceste condiții, pe lîngă deshidratarea bihidratului are loc și o descompunere parțială a sulfatului de calciu, așa încît materialul calcinat conține sulfat de calciu anhidru, oxid de calciu și sulfat bazic de calciu (mCaO·CaSO$_4$), în cantități determinate de temperatura de calcinare, de durata calcinării, de compoziția materiilor prime și finețea de măcinare. La temperaturi mai mari și pentru o durată de calcinare mai lungă se vor forma cantități mai mari de CaO și de sulfat bazic — ceea ce favorizează calitatea ipsosului, dar în același timp poate avea loc și o creștere a compactității produsului, ceea ce influențează negativ reactivitatea sa. Pentru o temperatură și o durată de calcinare dată, se obține un ipsos cu atît mai bun, cu cît granulele de ghips alimentate în cuptor au dimensiuni mai mici.

Variația conținutului în CaSO$_4$ și CaO în funcție de temperatura de calcinare este prezentată în tabelul 6.3.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.3

Temperatura de calcinare, °C	Compoziția produsului calcinat	
	$CaSO_4$, %	CaO, %
800	96,93	2,73
1 100	95,88	3,58
1 400	88,20	11,40

Tehnologia de fabricație a ipsosului de pardoseală este în general asemănătoare celei din cazul cimentului de anhidrit, cu deosebirea că ghipsul se calcinează la temperaturi mai ridicate și nu sînt necesare adaosuri activatoare suplimentare.

Ipsosul de pardoseală se caracterizează printr-o priză și întărire lentă ; priza începe după cel puțin 2 ore și se sfîrșește după 5—7 ore, iar rezistențele la compresiune după 28 zile de întărire sînt de cel mult 100—200 daN/cm^2.

La realizarea pardoselilor, ipsosul se toarnă pe un strat de nisip sau pietriș, pentru ca apa din pastă să nu fie absorbită așa cum s-ar întîmpla în cazul turnării pe un substrat lemnos sau de cărămidă. După un interval de 15—20 ore de la turnare, stratul de ipsos se compactează pînă cînd ajunge la o grosime reprezentînd 0,75 din grosimea inițială ; drept criteriu de terminare a compactării se consideră începutul separării apei la suprafață. După întărirea definitivă (10—15 zile), pardoseala se acoperă cu un ulei sicativ cald, o soluție de parafină în benzină sau ceară dizolvată în terebentină. Pe o asemenea pardoseală se aplică cel mai bine linoleumul.

6.5. CONTROLUL PRODUCȚIEI ȘI CALITĂȚII IPSOSULUI

În tehnologia de fabricație a ipsosului se deosebesc două etape importante, a căror desfășurare trebuie realizată riguros : mărunțirea ghipsului (sau a ipsosului) și deshidratarea.

Pentru a se asigura o bună funcționare a instalațiilor de mărunțire — concasoare și mori, se impun o serie de operații de control înainte de pornirea instalației și în timpul funcționării ei :

— controlul general al utilajului principal și a instalațiilor anexă înainte de pornire ;

— înlocuirea corpurilor de măcinare cînd gradul lor de uzură a atins limita admisibilă ;

Scanned with OKEN Scanner

— verificarea continuă a temperaturii lagărelor, care nu trebuie să depășească 70—75 °C ;

— asigurarea alimentării continue și uniforme a concasoarelor și morilor ;

— controlul caracteristicilor materialului alimentat în concasoare și mori ;

— controlul finețiii materialului la ieșirea din utilajul de mărunțire ;

— controlul temperaturii și debitului de gaze calde în cazul morilor uscătoare ;

— controlul funcționării instalațiilor de desprăfuire.

În ceea ce privește instalațiile de ardere în care are loc deshidratarea ghipsului, în funcție de tipul acestora, trebuie urmăriți o serie de parametri.

În cazul folosirii fierbătorului se controlează :

— starea zidăriei refractare a focarului și canalului de gaze ;

— funcționarea agitatorului ;

— asigurarea alimentării constante a fierbătorului ;

— controlul finețiii de măcinare și umidității ghipsului alimentat în fierbător ;

— regimul termic și tirajul instalației în timpul funcționării.

Dacă deshidratarea are loc în cuptor rotativ, se impun următoarele operații de control :

— verificarea, înainte de pornirea cuptorului, a instalațiilor de dozare, încărcare și evacuare, și a instalației de ardere ;

— controlul caracteristicilor materiilor prime (granulație, umiditate) care se alimentează în cuptor ;

— controlul regimului termic și respectarea curbei de ardere ;

— revizia periodică a instalației și refacerea parțială sau totală a zidăriei cuptorului și înlocuirea pieselor uzate.

Calitatea ipsosului obținut prin unul sau altul din procedeele descrise anterior se verifică prin determinarea periodică a principalelor sale caracteristici fizico-mecanice : finețe de măcinare, apa pentru pasta de consistență normală, timp de priză, rezistențe mecanice, folosindu-se pentru aceasta metodele de lucru standardizate.

În tabelul 6.4 sînt nominalizate determinările ce se fac în diferitele etape de fabricare a ipsosului, în scopul controlului procesului tehnologic și al produsului finit, cum și periodicitatea acestor determinări.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.4

		Hartă chimică	Extracția	Concasarea	Depozitarea	Măcinarea	Deshidratarea	Depozitarea	Expediția
Periodicitatea	Anual	+	+	−	−	−	−	−	−
	Lunar	−	−	+	+	−	−	−	−
	Orar	−	−	−	−	+	−	−	−
	Pe șarje	−	−	−	−	+	+	−	−
	Pe fierbătoare	−	−	−	−	−	+	−	−
	Pe silozuri	−	−	−	−	−	−	+	+
	Pe loturi	−	−	−	−	−	−	+	+
Locul prelevării probelor	Foraje, galerii etc.	+	−	−	−	−	−	−	−
	Front exploatat	+	+	−	−	−	−	−	−
	Intrări agregate	−	−	+	−	+	−	−	−
	Ieșiri agregate	−	−	+	−	+	−	−	−
	Fierbătoare	−	−	−	−	−	+	−	−
	Silozuri	−	−	−	−	−	−	+	+
	Mijloace de transport	−	−	−	+	−	−	−	+
Determinările	Conținut în apă	+	+	−	+	+	−	+	+
	Granulometrie	−	−	+	+	+	−	−	−
	Finețe	−	−	−	−	+	+	+	+
	Priză	−	−	−	−	−	+	+	+
	Rezistențe mecanice	−	−	−	−	−	−	+	+
	Compoziție chimică	+	+	−	+	+	−	+	+

6.5. APLICAȚII

A. Pentru obținerea ipsosului semihidrat se folosește o rocă de ghips avînd un conținut de 90% $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$. Considerînd că pierderea la calcinare este reprezentată numai prin apa care se elimină prin deshidratare, se cere să se determine :

a) cantitatea de apă pierdută prin deshidratarea unui kg de ghips la semihidrat ($CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$) ;

b) conținutul în $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$ al ipsosului de construcții obținut ;

Scanned with OKEN Scanner

c) pierderea la calcinare a unui kg de ipsos de construcții considerînd transformarea integrală a semihidratului pe care îl conține, în anhidrit ;

d) conținutul procentual al produsului obținut la pct. c.

Rezolvare :

a) $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O + 1{,}5\,H_2O$
172 145 18

172 g $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$ ..... 27 g H_2O
1 000 × 0,90 g $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$ ... X $X = 141{,}3$ g H_2O

b) Considerînd puritatea gipsului și pierderea de apă prin deshidratare, rezultă că din 100 kg gips, după deshidratare, rezultă 10 kg steril și o cantitate de semihidrat egală cu 90—14,13 = 75,83 kg $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$.

$$\%CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O \text{ în ipsos} = \frac{75{,}83}{75{,}83 + 10} \times 100 = 88{,}35\%$$

11,65% impurități.

c) $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O \rightarrow CaSO_4 + 0{,}5\,H_2O$
145 136 18

145 g $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$ ... 9 g H_2O
883,5 g $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$ ... X $X = 54{,}8$ g H_2O

d) 145 g $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$ ... 136 g $CaSO_4$
883,5 g $CaSO_4 \cdot 0{,}05\,H_2O$ ... X $X = 826$ g $CaSO_4$
826 g $CaSO_4$ + 116,5 g impurități = 942,5 g anhidrit

942,5 ... 100%
826 ... X $X = 87{,}7\%$ $CaSO_4$ în anhidrit

B. Se consideră deshidratarea a 10 t de gips conținînd 94% $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$, la semihidrat. Să se determine :

a) cantitatea de ipsos semihidrat obținută, considerînd că pierderile la calcinare a impurităților reprezintă 4% ;

b) compoziția procentuală (în $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$ și impurități) a ipsosului rezultat.

Răspunsuri :

a) 7 824 kg $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$ + 576 kg impurități = 8 400 kg ipsos semihidrat ;

b) 93,14% $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$ și 6,81% impurități.

C. Să se calculeze cantitatea de rocă de ghips (avînd 15% impurități fără pierderi la calcinare) necesară pentru fabricarea a 100 t ipsos semihidrat.

Scanned with OKEN Scanner

Rezolvare :

$$CaSO_4 \cdot 2\,H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O + 1{,}5\,H_2O$$
$$172 \qquad\qquad 145$$

172 t $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$ ... 145 t $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$
$100 \times 0{,}85$ t X

$X = 71{,}66$ t $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$

71,66 t $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$ + 15 t impurități = 86,66 t ipsos semihidrat
100 t rocă de ghips ... 86,66 t ipsos semihidrat
X ..... 100 t

$X = 115{,}39$ t rocă ghips pentru 100 t ipsos semihidrat.

D. Se dă o rocă de ghips cu 92% $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$. Se cere :

a) pierderea procentuală la calcinare în condițiile deshidratării la $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$ (impuritățile nu au pierdere la calcinare) ;

b) conținutul procentual în semihidrat al ipsosului obținut ;

c) cantitatea de apă îndepărtată la deshidratarea unui kg de ipsos semihidrat la anhidrit, impuritățile inițiale regăsindu-se total în acesta din urmă ;

d) pierderea la calcinare a ghipsului (în procente) în condițiile deshidratării acestuia la anhidrit.

Răspunsuri :

a) 14,44% apă ; b) 90,65% $CaSO_4 \cdot 0{,}5\,H_2O$; c) 0,056 kg apă ; d) 19,26% apă.

Scanned with OKEN Scanner

7. CIMENT PORTLAND

Cimentul portland este liantul rezultat prin măcinarea clincherului portland cu un adaos obligatoriu de ghips (4—8%) și eventual cu alte adaosuri facultative (zgură de furnal, cenușă de termocentrală ș.a.), în funcție de calitatea cimentului ce se fabrică.

Clincherul portland reprezintă produsul obținut prin calcinarea pînă la topire parțială, a unui amestec omogen, fin măcinat, de materii prime calcaroase și argiloase, eventual și diferite adaosuri de corecție. În tehnologia de fabricare a cimentului portland, clincherul reprezintă un semifabricat.

7.1. CARACTERIZAREA CHIMICO-MINERALOGICĂ ȘI MODULARĂ A CLINCHERULUI DE CIMENT PORTLAND

7.1.1. COMPOZIȚIA CHIMICĂ A CLINCHERULUI PORTLAND

Compoziția chimică a clincherului de ciment portland reprezintă conținutul procentual în elemente chimice, calculate ca oxizi. Compoziția chimică se exprimă în oxizi deoarece transformările chimice pe care le suferă materiile prime în timpul clincherizării nu implică distrugerea legăturilor dintre elementele respective și oxigen, așa încît, în compușii nou formați, oxizii intră ca unități molare bine constituite.

După ponderea pe care o au în compoziția clincherului, oxizii pot fi :

— principali — CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ;

— secundari — MgO, TiO_2, MnO, Na_2O, K_2O, SO_3 etc.

Compoziția chimică a unui clincher de ciment portland obișnuit se încadrează în următoarele limite : CaO — 60—67% ; SiO_2 — 19—24% ; Al_2O_3 — 4—7% ; Fe_2O_3 — 2—6% ; MgO — max. 4—5% ; SO_3 — max. 3% ; alcalii — max. 1—2%.

Scanned with OKEN Scanner

Depășirea acestor limite, în mod deosebit la compușii secundari (MgO, alcalii, SO_3) atrage după sine diminuarea calității cimentului care se obține din clincherul respectiv și poate provoca, de asemenea, serioase perturbații în desfășurarea procesului de ardere a clincherului.

7.1.2. COMPOZIȚIA MINERALOGICĂ A CLINCHERULUI DE CIMENT PORTLAND

În urma arderii amestecului de materii prime la temperaturi ridicate (1 400—1 450 °C) se formează, ca urmare a combinării oxizilor principali, o serie de compuși mineralogici cristalini, care coexistă cu faze vitroase și cu cantități mici de oxizi liberi.

Principalii compuși mineralogici ai clincherului de ciment portland sînt : alitul, belitul, celitul — denumiri date în perioada inițială a cercetărilor din acest domeniu, cînd compoziția chimică a acestor faze nu se cunoștea cu exactitate.

Alitul reprezintă constituentul esențial al clincherului de ciment portland, care imprimă proprietăți de rezistență mecanică ridicată pietrei de ciment întărite. Se prezintă sub formă de cristale bine formate (plăci trigonale) și este constituit, în principal, din silicat tricalcic ($3\,CaO \cdot SiO_2$—C_3S), alături de care mai apar, în cantități mici, unii oxizi, îndeosebi Al_2O_3 și MgO. Prezența acestora, sub formă de soluții solide cu silicatul tricalcic, modifică structura și compoziția alitului, influențînd stabilitatea și proprietățile sale hidraulice. Ponderea acestor oxizi în rețeaua silicatului tricalcic este dependentă de compoziția amestecului brut, de temperatura maximă de ardere, de condițiile de răcire. Pentru limita de solubilitate la temperatura de ardere a clincherului, literatura de specialitate indică, în cazul oxidului de magneziu, valori cuprinse între 1,5 și 2%, iar pentru Al_2O_3 — valori cuprinse între 2 și 6%.

Belitul se prezintă sub formă de cristale rotunjite, de culoare gălbuie, care conțin în principal silicat dicalcic ($2\,CaO \cdot SiO_2$—C_2S). Silicatul dicalcic se prezintă în 4 stări polimorfe : α, α', β și γ, stabile în diferite condiții de temperatură.

$$\text{Topitură} \xleftarrow{2\,130^\circ C} \alpha\text{—}C_3S \xleftarrow{1\,425^\circ C} \alpha'\text{—}C_2S \begin{cases} \xleftarrow{675^\circ C} \gamma\text{-}C_2S \\ \xleftarrow{850^\circ C} \beta\text{-}C_2S \end{cases} \quad 490\ ^\circ C$$

Din punct de vedere hidraulic, formele de temperatură înaltă sînt mai active, în timp ce forma γ este hidraulic inactivă. Transformarea β-$C_2S \rightarrow \gamma$-C_2S are loc cu mărire importantă de volum, ceea ce determină pulverizarea clincherului respectiv.

Scanned with OKEN Scanner

Întrucît transformarea formelor de temperatură înaltă în forma γ conduce la pierderea proprietăților hidraulice, evitarea acestui proces prezintă un interes practic deosebit. Forma β, cea mai reactivă din punct de vedere hidraulic, poate fi *stabilizată pe cale fizică* prin răcire rapidă (metodă folosită industrial). Pe *cale cristalochimică*, stabilizarea formei β se realizează prin înglobarea în rețeaua silicatului dicalcic a unor ioni care să îngreuneze formarea și creșterea germenilor de cristalizare ai formei γ ; asemenea rol îndeplinesc cationi cu rază ionică mai mare decît a Ca^{2+} (de ex. Na^{+}, K^{+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}) sau care formează complecși anionici mai mici decît SiO_4^{4-} (de ex. B^{3+}, P^{5+}, Cr^{6+}, V^{5+}, Mn^{6+}). Complexitatea compoziției amestecului brut pentru fabricarea clincherului asigură prezența unor asemenea ioni și creează deci premisele pentru stabilizarea silicatului dicalcic sub forma β.

Celitul reprezintă faza feritaluminatică din clincherele obișnuite, care apare sub formă de cristale de culoare închisă, care umplu spațiile dintre cristalele de alit și belit. El reprezintă de fapt soluții solide ale căror compoziții chimice variază în limite foarte largi, de la $8\,CaO \cdot 3\,Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_8A_3F) la $2\,CaO \cdot Fe_2O_3$ (C_2F). În clincherele bogate în Fe_2O_3, compoziția celitului tinde către C_2F, în timp ce în clincherele mai bazice ea se apropie de C_4AF, pentru ca, în clincherele cu conținut ridicat de Al_2O_3, celitul să aibă compoziția aproximativă C_6A_2F și chiar C_8A_3F. Soluțiile solide feritaluminatice înglobează, de asemenea, unii oxizi, ca de ex. MgO (1—2%) sau Mn_2O_3.

Faptul că celitul înconjoară cristalele de alit și belit din clincher îngreunează interacțiunea acestora cu apa în timpul procesului de întărire. Întîrzierea hidratării silicaților de calciu depinde de cantitatea de fază feritaluminatică (cu cît stratul înconjurător este mai gros, cu atît accesul apei la silicații de calciu va fi mai dificil) și de reactivitatea acesteia, care scade spre extremitatea feritică a seriei de soluții solide.

Masa vitroasă reprezintă resturile de topitură care nu au cristalizat datorită răcirii rapide. Alături de celit ea umple spațiile dintre alit și belit. Cantitatea de fază vitroasă depinde de temperatura de clincherizare și de viteza de răcire. Pentru un clincher obișnuit ars la 1 450 °C și răcit rapid, ea ajunge la aproximativ 22%.

Aluminatul tricalcic apare sub formă de cristale cubice în clincherele mai bogate în alumină.

Oxidul de calciu liber apare în cazul unei arderi necorespunzătoare a clincherului, sau al unui dozaj necorespunzător al materiilor prime. Se prezintă sub formă de cristale cubice mari și influențează negativ calitatea clincherului, ca urmare a inconstanței de volum pe

Scanned with OKEN Scanner

care o determină hidratarea întîrziată a acestui var supraars în piatra de ciment în curs de întărire.

Oxidul de magneziu apare liber numai în cazul în care este prezent în amestecul de materii prime în proporție mai mare de 4%. Pînă la această limită el este adiționat ca soluții solide în faza alitică și celitică, sau înglobat în masa vitroasă În cazul unui conținut mai mare de MgO în materiile prime, el se va regăsi parțial sub formă de periclaz puțin reactiv față de apă care, prin hidratare întîrziată, provoacă inconstanță de volum, la fel ca și oxidul de calciu nelegat (inconstanța de volum provocată de MgO este mai periculoasă).

Compușii conținînd oxizi alcalini sînt de nedorit în clincher, motiv pentru care conținutul de alcalii din amestecul brut se limitează la maximum 1—2%. În cazul unui conținut mai mare, oxizii alcalini pot forma compuși de tipul $K_2O \cdot 23\ CaO \cdot 12\ SiO_2$ ($KC_{23}S_{12}$) și $Na_2O \cdot 8\ CaO \cdot 3\ Al_2O_3$ (NC_8A_3).

Deosebit de contraindicat este oxidul de potasiu, deoarece el blochează în compusul $KC_{23}S_{12}$, o cantitate importantă de C_2S, împiedicînd transformarea sa în C_3S, deci reduce astfel conținutul de silicat tricalcic din clincher, diminuîndu-i calitatea. În clincherele alitice, în care cantitatea de silicat dicalcic este redusă, prezența oxidului de potasiu este și mai dăunătoare, deoarece poate determina descompunerea silicatului tricalcic după reacția :

$$12(3\ CaO \cdot SiO_2) + K_2O \rightarrow K_2O \cdot 23\ CaO \cdot 12\ SiO_2 + 13\ CaO$$

Prin această reacție, pe lîngă reducerea conținutului de alit din clincher, se formează o cantitate importantă de oxid de calciu liber, puțin reactiv față de apă (datorită temperaturii de ardere ridicate) care, hidratîndu-se întîrziat, imprimă cimentului respectiv inconstanță de volum.

Constituenții mineralogici imprimă clincherului anumite proprietăți fizico-mecanice și chimice. Cimenturile portland obișnuite se încadrează în următoarele limite privind conținutul lor în diferiți componenți mineralogici : C_3S — 37,5—60% ; C_2S — 15—37,5% ; C_3A — 7—15% ; C_4AF — 10—18% ; CaO nelegat — max. 2%.

În funcție de preponderența unora sau altora din constituenți clincherele pot fi :

— alitice, au peste 60% silicat tricalcic ;

— belitice, au peste 37,5% silicat dicalcic ;

— aluminatice, au peste 15% aluminat tricalcic ;

— feritaluminatice, au peste 18% soluție solidă feritaluminatică ;

— feritice, au peste 7% ferit dicalcic și sub 18% feritaluminat tetracalcic.

Scanned with OKEN Scanner

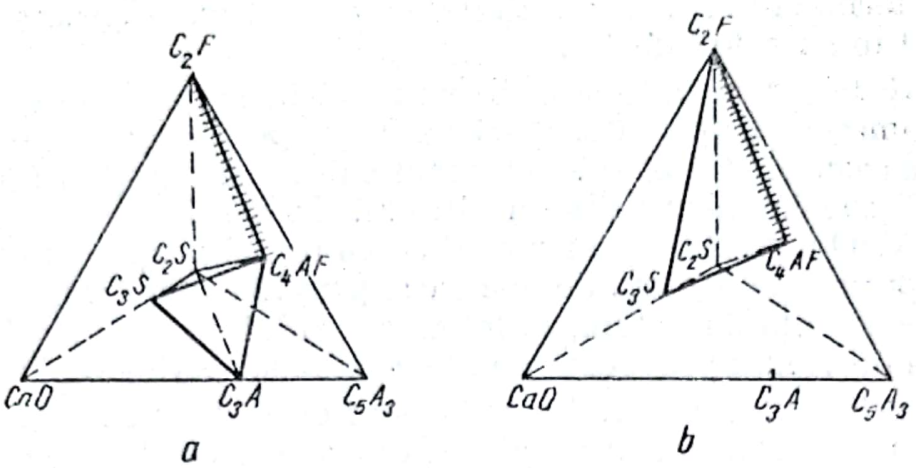


Fig. 7.1. Subsistemele de echilibru termic, corespunzătoare clincherelor de ciment portland.

7.1.3. LOCUL CIMENTULUI PORTLAND ÎN SISTEMUL $CaO—SiO_2—Al_2O_3—Fe_2O_3$

Dată fiind compoziția sa oxidică, cimentul portland se încadrează în sistemul cuaternar $CaO—SiO_2—Al_2O_3—Fe_2O_3$. Compoziția mineralogică și condițiile de calitate impuse cimentului portland limitează locul acestuia în cadrul sistemului cuaternar, la subsistemele conținînd C_3S, C_2S, C_3A, $C_xA_yF_z$ și lipsite de oxid de calciu liber. Aceste condiții sînt satisfăcute de subsistemele $C_3S—C_2S—C_3A—C_4AF$ și $C_3S—C_2S—C_xA_yF_z$ (soluții solide), vizibile în diagramele din fig. 7.1.

7.1.4. MODULAREA ÎN CHIMIA CIMENTULUI PORTLAND

Este evident că, în condiții de ardere corespunzătoare, compoziția mineralogică a clincherului este determinată de compoziția sa oxidică. Caracterizarea clincherelor din punctul de vedere al compoziției oxidice se poate face utilizînd *modulii*. Sistemul modular se bazează pe corelațiile care se stabilesc între compoziția oxidică și cea mineralogică a clincherelor, simplificînd prin aceasta calculul amestecului brut și deducerea unor caracteristici ale cimenturilor ce urmează a fi fabricate.

Principalii moduli folosiți în chimia cimentului sînt : modulul de silice, modulul de alumină și gradul de saturare în calce.

Modulul de silice (M_{Si}) reprezintă raportul între conținutul procentual de SiO_2 și conținutul procentual de $Al_2O_3+Fe_2O_3$ din clincher :

$$M_{Si} = \frac{\%\,SiO_2}{\%\,Al_2O_3 + \%\,Fe_2O_3}$$

Clincherele de ciment portland normal au $M_{Si} = 1{,}5 \ldots 4$. Valoarea modulului de silice dă informații asupra compoziției mineralogice a clincherului, respectiv asupra conținutului de silicați și aluminați : $(C_3S+C_2S)/(C_3A+C_4AF)$, precum și asupra comportării la ardere a amestecului brut, a conținutului de fază lichidă (silicații rămîn în faza solidă, în timp ce aluminații și mai ales feritaluminații trec în faza lichidă). În cazul unui modul de silice ridicat, clincherizarea se realizează în condiții mai dificile ; pentru valori ale modulului de silice mai mari de 2,5 clincherizarea se face greu, cu un consum mare de energie ; pentru $M_{Si} = 2 \ldots 2{,}5$ clincherizarea decurge normal, iar pentru M_{Si} mai mic de 2, clincherizarea se face ușor. Clincherele cu M_{Si} mai mic de 1,5 dau cimenturi cu priză foarte rapidă.

Modulul de alumină (M_{Al}) este raportul între conținutul procentual de Al_2O_3 și Fe_2O_3 al clincherului :

$$M_{Al} = \frac{\%\ Al_2O_3}{\%Fe_2O_3}.$$

Pentru clincherele obișnuite, modulul de alumină are valori cuprinse între 0,2 și 5. Valoarea sa dă informații asupra ponderii fazelor aluminatice, feritice și feritaluminatice din clincher :

— la M_{Al} mai mare de 0,64, toată cantitatea de Fe_2O_3 apare legată în soluție solidă feritaluminatică, surplusul de Al_2O_3 formează C_3A ;

— la M_{Al} mai mic de 0,64, toată cantitatea de Al_2O_3 apare legată în soluție solidă feritaluminatică, surplusul de Fe_2O_3 formează C_2F ;

— $M_{Al} = 0{,}64$, toată cantitatea de Al_2O_3 și Fe_2O_3 este legată cu CaO ca C_4AF. Valoarea 0,64 rezultă din raportul greutăților molare Al_2O_3 (102)/Fe_2O_3 (159) = 0,64.

Ca urmare a acestui fapt, modulul de alumină dă informații asupra subsistemului de echilibru termic căruia aparține clincherul. Astfel, clincherele portland normale, aflate în subsistemul C_3S—C_2S—C_3A—C_4AF au M_{Al} mai mare de 0,64.

Gradul de saturare în calce reprezintă raportul între conținutul procentual de CaO existent în clincher și cantitatea de CaO necesară saturării SiO_2, Al_2O_3 și Fe_2O_3 la componenții mineralogici caracteristici clincherului, cu condiția să nu rămînă CaO nelegat (liber). Din acest motiv clincherele conțin, de regulă, o cantitate de CaO ceva mai mică decît cea necesară saturării oxizilor acizi.

Pentru calcularea gradului de saturare în calce au fost propuse diferite formule care se deosebesc prin modul în care se consideră saturarea cu CaO a Al_2O_3 și Fe_2O_3.

Scanned with OKEN Scanner

La noi se utilizează calcea standard (C_s) :

$$C_s = \frac{\%\ CaO}{2{,}8\%\ SiO_2 + 1{,}1\%\ Al_2O_3 + 0{,}7\%\ Fe_2O_3} \times 100,$$

care coincide cu formularea dată de savantul german Kühl pentru gradul de saturare în calce :

$$S_K = \frac{\%\ CaO}{2{,}8\%\ SiO_2 + 1{,}1\%\ Al_2O_3 + 0{,}7\%\ Fe_2O_3}$$

și corespunde saturării SiO_2 la C_3S și a Al_2O_3 și Fe_2O_3 cu cîte două molecule de CaO.

7.1.5. CALCULUL COMPOZIȚIEI MINERALOGICE A CLINCHERULUI DE CIMENT PORTLAND

Calculul compoziției mineralogice a clincherului se efectuează diferențiat în funcție de modul în care a avut loc răcirea sa. La răcire lentă, cînd se realizează echilibrul termodinamic, se formează compușii cristalini caracteristici sistemului (alit, belit, aluminați, feriți și feritaluminați de calciu). În practica industrială, o asemenea situație nu se întîlnește, totuși se calculează astfel o „compoziție mineralogică potențială", care poate da unele informații privind proprietățile clincherului obținut.

La răcirea rapidă, o parte din clincher rămîne sub formă de fază vitroasă iar calculul compoziției mineralogice trebuie să țină seama de compoziția acesteia. Dacă răcirea se face la început rapid și pe urmă cu viteză mai mică, există posibilitatea ca faza vitroasă să cristalizeze independent de restul compoziției clincherului. Pentru fiecare din aceste situații s-au dedus relații de calcul care permit stabilirea compoziției mineralogice a clincherului pe baza compoziției sale oxidice.

Calculul compoziției mineralogice în condiții de echilibru termodinamic (răcire lentă) se realizează cu ajutorul relațiilor stabilite de Bogue. Compușii de cristalizare care se formează în cazul răcirii lente a clincherelor diferă în funcție de raportul între Al_2O_3 și Fe_2O_3 (M_{Al}) caracteristic compoziției examinate. Pentru calcul se ia în considerație doar oxidul de calciu care a reacționat cu oxizii acizi (fără CaO legat ca sulfat sau CaO nereacționat) și silicea reacționată (fără insolubilul în HCl).

Scanned with OKEN Scanner

La clincherele cu $M_{Al} > 0{,}64$, drept compuși mineralogici se formează C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF.

4 $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ leagă toată cantitatea de Fe_2O_3 și cantități echivalente de Al_2O_3 și CaO, corespunzător raportului 1 mol Fe_2O_3 : 1 mol Al_2O_3 : 4 moli CaO. Deci :

$$C_4AF = \%\ Fe_2O_3 + \frac{102}{159}\ \%\ Fe_2O_3 + \frac{4 \times 56}{159}\ \%\ Fe_2O_3$$

$$\boxed{C_4AF = 3{,}04\%\ Fe_2O_3}$$

3 $CaO \cdot Al_2O_3$ leagă alumina rămasă după formarea feritaluminatului tetracalcic, împreună cu o cantitate echivalentă de CaO, corespunzînd raportului 1 mol Al_2O_3 : 3 moli CaO. Deci :

$$C_3A = \left(\%\ Al_2O_3 - \frac{102}{159}\ \%\ Fe_2O_3\right) + \frac{3 \times 56}{102}\left(\%\ Al_2O_3 - \frac{102}{159}\ \%\ Fe_2O_3\right)$$

$$\boxed{C_3A = 2{,}65\%\ Al_2O_3 - 1{,}69\%\ Fe_2O_3}$$

În *3* $CaO \cdot SiO_2$ și *2* $CaO \cdot SiO_2$ se leagă toată cantitatea de CaO rămasă după formarea C_4AF și C_3A, cu cantități echivalente de SiO_2, corespunzînd rapoartelor 3 moli CaO : 1 mol SiO_2, respectiv 2 moli CaO : 1 mol SiO_2.

$$CaO_{rămas} = CaO_{total} - \frac{4 \times 56}{159}\ \%\ Fe_2O_3 + \frac{3 \times 56}{102}\left(\%\ Al_2O_3 - \frac{102}{159}\ \%\ Fe_2O_3\right)$$

$$= CaO_{total} - 1{,}65\%\ Al_2O_3 - 0{,}35\%\ Fe_2O_3.$$

Această cantitate de CaO, împreună cu SiO_2, formează C_3S și C_2S, drept care se pot scrie următoarele ecuații de bilanț :

$$\%\ CaO_{total} - 1{,}65\%\ Al_2O_3 - 0{,}35\%\ Fe_2O_3 = \frac{3 \times 56}{228}\ \%\ C_3S + \frac{2 \times 56}{172}\ \%\ C_2S$$

$$\%\ SiO_2 = \frac{60}{228}\ \%\ C_3S + \frac{60}{172}\ \%\ C_2S$$

Prin rezolvarea sistemului se ajunge la :

$$\boxed{\begin{array}{c} \%\ C_3S = 4{,}07\%\ CaO - 7{,}6\%\ SiO_2 - 6{,}72\%\ Al_2O_3 - 1{,}42\%\ Fe_2O_3 \\ \hline \%\ C_2S = 8{,}6\%\ SiO_2 + 5{,}06\%\ Al_2O_3 + 1{,}07\%\ Fe_2O_3 - 3{,}05\%\ CaO \end{array}}$$

În cazul clincherelor avînd $M_{Al} = 0{,}64$, întreaga cantitate de Al_2O_3 și Fe_2O_3 este legată ca C_4AF, iar calculul se va efectua considerînd clincherul format numai din C_3S, C_2S și C_4AF.

Scanned with OKEN Scanner

$4\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ leagă toată cantitatea de Al_2O_3 și Fe_2O_3 și cantități echivalente de CaO :

$$\% \; C_4AF = \% \; Fe_2O_3 + \frac{102}{159} \% \; Fe_2O_3 + \frac{4 \times 56}{159} \% \; Fe_2O_3$$

$$\boxed{C_4AF = 3{,}04\% \; Fe_2O_3}$$

În silicați se leagă toată silicea cu oxidul de calciu rămas după formarea feritaluminatului tetracalcic :

$$\% \; CaO_{rămas} = \% \; CaO_{total} - \frac{4 \times 56}{159} \% \; Fe_2O_3$$

$$\boxed{CaO_{rămas} = CaO_{total} - 1{,}4\% \; Fe_2O_3}$$

Se scriu ecuațiile de bilanț :

$$\% \; CaO_{total} - 1{,}4\% \; Fe_2O_3 = \frac{3 \times 56}{228} \% \; C_3S + \frac{2 \times 56}{172} \% \; C_2S$$

$$\% \; SiO_2 = \frac{60}{228} \% \; C_3S + \frac{60}{172} \% \; C_2S,$$

din care rezultă :

$$\boxed{\% \; C_3S = 4{,}07\% \; CaO - 7{,}6\% \; SiO_2 - 5{,}7\% \; Fe_2O_3}$$

$$\boxed{\% \; C_2S = 8{,}6\% \; SiO_2 - 4{,}3\% \; Fe_2O_3 - 3{,}05\% \; CaO}$$

Pentru cazul clincherelor cu $M_{Al} < 0{,}64$, pentru calcul se iau în considerație compușii C_3S, C_2S, C_2F și C_4AF.

$4\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ în cazul acesta leagă întreaga cantitate de Al_2O_3 împreună cu părți echivalente de Fe_2O_3 și CaO :

$$\% \; C_4AF = \% \; Al_2O_3 + \frac{159}{102} \% \; Al_2O_3 + \frac{4 \times 56}{102} \% \; Al_2O_3$$

$$\boxed{C_4AF = 4{,}57\% \; Al_2O_3}$$

$2\,CaO \cdot Fe_2O_3$ leagă Fe_2O_3 rămas după formarea C_4AF cu părți echivalente de CaO :

$$\% \; C_2F = \left| \% \; Fe_2O_3 - \frac{159}{102} \% \; Al_2O_3 \right| + \frac{2 \times 56}{159} \left| \% \; Fe_2O_3 - \frac{159}{102} \% \; Al_2O_3 \right|$$

$$\boxed{\% \; C_2F = 1{,}7\% \; Fe_2O_3 - 2{,}65\% \; Al_2O_3}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\%\,CaO_{rămas} = \%\,CaO_{total} - \frac{4\times56}{102}\,\%\,Al_2O_3 + \frac{2\times56}{159}\left(\%\,Fe_2O_2 - \frac{159}{102}\,\%\,Al_2O_3\right)$$

$$\%\,CaO_{rămas} = \%\,CaO_{total} - 1{,}105\%\,Al_2O_3 - 0{,}7\%\,Fe_2O_3$$

Se scriu ecuațiile de bilanț pentru formarea silicaților :

$$\%\,CaO_{total} - 1{,}105\%\,Al_2O_3 - 0{,}7\%\,Fe_2O_3 = \frac{3\times56}{228}\,\%\,C_3S + \frac{2\times56}{172}\,\%\,C_2S$$

$$\%\,SiO_2 = \frac{60}{228}\,\%\,C_3S + \frac{60}{172}\,\%\,C_2S$$

Prin rezolvarea sistemului de ecuații se obține :

$$\%\,C_3S = 4{,}07\%\,CaO - 7{,}6\%\,SiO_2 - 4{,}48\%\,Al_2O_3 - 2{,}84\%\,Fe_2O_3$$

$$\%\,C_2S = 8{,}2\%\,SiO_2 - 3{,}05\%\,CaO + 3{,}36\%\,Al_2O_3 + 2{,}14\%\,Fe_2O_3$$

Calculul compoziției mineralogice în condiții de neechilibru termodinamic (răcire rapidă) este mai complex și se face după relațiile stabilite de Dahl (vezi anexa 1). Aceste relații permit atît calcularea cantității și compoziției fazei vitroase a diferite temperaturi, cît și a cantității și compoziției fazelor cristaline formate. Relațiile lui Dahl presupun cunoașterea compoziției mineralogice potențiale a clincherului, deci compoziția acestuia dacă solidificarea s-ar face în condiții de echilibru termodinamic.

7.1.6. APLICAȚII

A. Pornind de la definiția gradului de saturare, să se deducă valoarea coeficienților din expresia pentru S_K.

Rezolvare : Gradul de saturare reprezintă raportul între CaO existent în clincher și CaO necesar saturării :

— SiO_2 la $3\,CaO\cdot SiO_2$

1 mol SiO_2 (60 g) leagă 3 moli CaO (3×56 g)

1 g (%) SiO_2 X

$$X = \%\,CaO = \frac{3\times56}{60}\,\%\,SiO_2 = 2{,}8\%\,SiO_2$$

— Al_2O_3 la ipotetic $2\,CaO\cdot Al_2O_3$ (un asemenea compus mineralogic nu există, dar conduce, împreună cu $2\,CaO\cdot Fe_2O_3$ la formarea feritaluminatului tetracalcic)

Scanned with OKEN Scanner

1 mol Al_2O_3 (102 g) leagă 2 moli CaO (2×56 g)
1 g (%) Al_2O_3 X

$$X = \%\ CaO = \frac{2\times 56}{159}\ \%\ Al_2O_3 = 1{,}1\%\ Al_2O_3$$

— Fe_2O_3 la $2\,CaO\cdot Fe_2O_3$
1 mol Fe_2O_3 (159 g) leagă 2 moli CaO (2×56 g)
1 g (%) Fe_2O_3 X

$$X = \%\ CaO = \frac{2\times 56}{159}\ \%\ Fe_2O_3 = 0{,}7\%\ Fe_2O_3$$

B. Se dă următoarea analiză chimică a unui clincher portland :

$CaO_{total} = 66{,}2\%$	$Al_2O_3 = 5{,}55\%$
$CaO_{liber} = 0{,}8\%$	$MgO = 0{,}4\%$
$SiO_{2\ total} = 22{,}8\%$	$Fe_2O_3 = 3{,}95\%$
Insolubil	
în HCl $= 0{,}25\%$	$R_2O = 0{,}75\%$
	$SO_3 = 0{,}35\%$

Se cere :
1) Să se calculeze caracteristicile modulare ale clincherului ;
2) În funcție de valoarea M să se precizeze componenții mineralogici ai clincherului ;
3) Să se calculeze compoziția mineralogică potențială a clincherului ;
4) Pe baza valorilor calculate mai sus să se aprecieze comportarea la ardere și tipul clincherului examinat.

Rezolvare :

1) $$M_{Si} = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3} = \frac{22{,}8}{5{,}55+3{,}95} = 2{,}4$$

$$M_{Al} = \frac{\%\ Al_2O_3}{\%\ Fe_2O_3} = \frac{5{,}55}{3{,}95} = 1{,}40$$

$$S_K = \frac{\%CaO}{2{,}8\%SiO_2 + 1{,}1\%Al_2O_3 + 0{,}7\%Fe_2O_3} = \frac{66{,}2}{2{,}8\times 22{,}8 + 1{,}1\times 5{,}5 + 0{,}7\times 3{,}95}$$

$S_K = 0{,}91.$

2) Valoarea M_{Al} fiind mai mare de 0,64, clincherul va conține următorii componenți mineralogici potențiali : C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF.

3) Se aplică formulele pentru cazul $M_{Al} > 0{,}64$

$C_4AF = 3{,}04\%\ Fe_2O_3 = 3{,}04\times 3{,}95 = 12{,}01\%$

$C_3A = 2{,}65\%\ Al_2O_3 — 1{,}69\%\ Fe_2O_3 = 2{,}65\times 5{,}55 — 1{,}69\times 3{,}95 = 8{,}03\%$

$C_3S = 4{,}07\%\ CaO — 7{,}6\%\ SiO_2 — 6{,}72\%\ Al_2O_3 — 1{,}42\%\ Fe_2O_3 = 4{,}07\times 65{,}4 — 7{,}6\times 22{,}8 — — 6{,}72\times 5{,}55 — 1{,}42\times 3{,}95 = 51{,}89\%$

$C_2S = 8{,}6\%\ SiO_2 + 5{,}06\%\ Al_2O_3 + 1{,}07\%\ Fe_2O_2 — 3{,}05\%\ CaO = 8{,}6\times 22{,}55 + 5{,}06\times \times 5{,}55 + 1{,}07\times 3{,}95 — 3{,}05\times 65{,}4 = 26{,}77\%$

Scanned with OKEN Scanner

4) Valoarea M_{SI} =2,4 se încadrează în domeniul compoziţiilor cu *clincherizare normală*. Compoziţia mineralogică potenţială a clincherului examinat se încadrează în limitele corespunzătoare *cimenturilor portland normale*.

C. Să se calculeze caracteristicile modulare şi compoziţia mineralogică potenţială şi să se aprecieze comportarea la ardere şi tipul cimentului pentru următoarele compoziţii de clinchere :

Compoziţia oxidică (%)	Clincherul			
	A	B	C	D
CaO_{total}	63,5	67,0	65,2	65,7
CaO_{liber}	0,6	0,5	0,35	0,2
$SiO_{2\,(total)}$	23,26	21,6	21,8	22,2
Insol. în HCl	0,2	0,25	0,15	0,2
Al_2O_3	6,85	5,85	3,84	3,6
Fe_2O_3	4,24	4,55	6,0	6,2
MgO	1,2	0,3	1,9	1,2
R_2O	0,7	0,55	0,78	0,66
SO_3	0,25	0,15	0,48	0,44

7.2. PROCESE FIZICO-CHIMICE CARE AU LOC LA ARDEREA ŞI RĂCIREA CLINCHERULUI PORTLAND

Formarea clincherului de ciment portland este rezultatul unui complex de procese fizice şi chimice, a căror desfăşurare este influenţată de natura materiilor prime, de compoziţia, fineţea de măcinare şi omogenitatea amestecului brut, de condiţiile în care se realizează arderea şi răcirea clincherului, de prezenţa unor mineralizatori.

7.2.1. REACŢII CARE AU LOC LA ARDEREA AMESTECULUI BRUT

Acestea pot fi grupate în două mari categorii :

a) reacţii care se petrec în fază solidă, de exemplu descompunerea componenţilor amestecului brut (minerale argiloase, $CaCO_3$) şi combinarea produşilor de descompunere cu formarea de silicaţi, aluminaţi şi feriţi de calciu ;

b) reacţii care au loc cu participarea fazei lichide, rezultată în urma topirii parţiale a amestecului brut la temperaturi ridicate (în jur de 1 300 °C).

Scanned with OKEN Scanner

Pe măsura încălzirii amestecului brut au loc următoarele transformări fizico-chimice :

În jur de 100 °C are loc evaporarea intensă a apei din amestecul brut ; procesul prezintă interes doar în cazul procedeului umed sau semiuscat (umed), la care amestecul brut se alimentează în cuptor sub formă de pastă sau granule. Evaporarea apei din pastă determină creşterea viscozităţii acesteia şi aglomerarea sa în bulgări, datorită plasticităţii argilei.

La temperaturi mai mari de 200 °C au loc procesele de pirogenare a substanţelor organice conţinute eventual în materiile prime (mai ales în cele argiloase).

Începînd de la 400 °C, mineralele argiloase pun în libertate apa de constituţie şi are loc transformarea caolinitului în metacaolinit, ceea ce are drept urmare pierderea plasticităţii argilei (şi deci pulverizarea amestecului brut în cazul procedeului umed sau semiuscat).

$$\underset{\text{(caolinit)}}{Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O} \xrightarrow{450\ ^\circ C} Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 + 2\,H_2O \quad \underset{\text{(metacaolinit}}{}$$

La creşterea temperaturii peste 600 °C începe descompunerea carbonaţilor :

$$MgCO_3 \xrightarrow{640^\circ C} MgO + CO_2$$

$$CaCO_3 \xrightarrow{898^\circ C} CaO + CO_2$$

Concomitent încep reacţiile de formare în fază solidă a unor silicaţi şi aluminaţi de calciu :

$$CaO + Al_2O_3 \rightarrow CaO \cdot Al_2O_3$$

$$2\,CaO + SiO_2 \rightarrow 2\,CaO \cdot SiO_2$$

Între 900 şi 1 200 °C, aceste reacţii se desfăşoară cu viteză importantă ; la temperaturi mai mari de 950 °C, toată cantitatea de carbonaţi este descompusă. În acest interval prezintă un interes deosebit viteza cu care are loc creşterea temperaturii :

— la o creştere lentă a temperaturii, oxidul de calciu rezultat din descompunerea carbonatului de calciu se compactează, prin aceasta suprafaţa sa de contact cu ceilalţi oxizi prezenţi (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3) se micşorează, iar în ansamblu, viteza proceselor în fază solidă scade ;

— la o creştere rapidă a temperaturii, oxidul de calciu păstrează o structură poroasă, ceea ce favorizează desfăşurarea reacţiilor în fază solidă, cu formare de silicaţi, aluminaţi şi feriţi ; este necesar deci să se asigure o creştere rapidă a temperaturii în această zonă.

Scanned with OKEN Scanner

Principalii compuși care se formează sînt : $CaO \cdot Al_2O_3$, $2\,CaO \cdot SiO_2$, $CaO \cdot Fe_2O_3$, $2\,CaO \cdot Fe_2O_3$.

La temperaturi peste 1 250 °C are loc saturarea aluminatului monocalcic la $12\,CaO \cdot 7\,Al_2O_3$ și $3\,CaO \cdot Al_2O_3$ și interacțiunea feriților de calciu cu aluminații de calciu, cu formare de feritaluminați de tipul $4\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$.

Formarea silicatului tricalcic la temperaturi mai mici decît cea corespunzătoare apariției topiturii în sistem are loc în mică măsură, procesul fiind mult accelerat de apariția fazei lichide. Prezența unor cantități mici de impurități (oxizi alcalini, MgO, TiO_2, SO_3 etc.) în compoziția amestecului brut determină formarea unor cantități mici de topitură încă de la aproximativ 1 300 °C (în sistemul cuaternar $CaO—SiO_2—Al_2O_3—Fe_2O_3$, temperatura la care se formează fază lichidă este de 1 338 °C). Pe măsura ridicării temperaturii la 1 400—1 450 °C crește cantitatea de topitură și scade viscozitatea sa ; aceasta înlesnește o mobilitate mai mare a ionilor de Ca^{2+} și accelerează procesul de saturare a $2\,CaO \cdot SiO_2$ la $3\,CaO \cdot SiO_2$:

$$2\,CaO \cdot SiO_2 + CaO \rightarrow 3\,CaO \cdot SiO_2$$

S-a constatat că o staționare a materialului de 15—20 min în zona temperaturilor de 1 350—1 450 °C, denumită zona de clincherizare, asigură legarea practic totală a oxidului de calciu din amestecul supus arderii.

7.2.2. RĂCIREA CLINCHERULUI

Calitatea clincherului este influențată de modul în care se realizează răcirea, ceea ce se reflectă în :

— compoziția mineralogică reală ;
— aspectul textural al clincherelor ;
— aptitudinea la măcinare a clincherelor.

S-a constatat că, pentru a obține clinchere cu un conținut cît mai ridicat de alit, care este componentul cel mai valoros din cimentul portland, răcirea trebuie condusă diferențiat în funcție de compoziția oxidică a amestecului supus arderii :

— pentru clinchere cu $M_{Al} > 1{,}38$ este mai avantajoasă o răcire rapidă, deoarece la răcire lentă, o parte din silicatul tricalcic format inițial se descompune cu formare de silicat dicalcic și îmbogățirea topiturii în CaO ;

— pentru clincherele cu $M_{Al} < 1{,}38$ este mai avantajoasă o răcire mai lentă, în timpul căreia o parte din silicatul dicalcic format anterior se dizolvă în topitură, reacționează cu CaO din aceasta și cristalizează ca $3\,CaO \cdot SiO_2$.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.1

Compoziția oxidică	Modul în care s-a realizat răcirea	Compoziția mineralogică a clincherului, %				
		sticlă	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
SiO_2 =23 % Al_2O_3= 7 % Fe_2O_3= 2 % CaO =68 % M_{Al} = 3,5	lent	0,0	52,5	26,5	15,2	6,1
	rapid	25,3	59,4	15,3	0,0	0,1
SiO_2 =23 % Al_2O_3= 4 % Fe_2O_3= 6 % CaO =67 % M_{Al} =0,66	lent	0,0	62,7	18,6	0,5	18,2
	rapid	25,2	55,1	19,4	0,0	0,0

Pentru ilustrarea acestei comportări, în tabelul 7.1 s-a prezentat pentru două clinchere care diferă între ele prin valoarea modulului de alumină, compoziția mineralogică în cazul răcirii lente, la echilibru termodinamic (calculată cu formulele lui Bogue) și în cazul răcirii rapide, la neechilibru termodinamic (calculată cu relațiile lui Dahl).

Din punctul de vedere al desfășurării proceselor de cristalizare a componenților mineralogici ai clincherului, se consideră :

— răcire lentă — cazul în care timpul de răcire este mai mare decît timpul necesar proceselor de cristalizare, și

— răcire rapidă — cazul în care valoarea raportului între timpul de răcire și timpul necesar cristalizării este subunitară.

Procesul de cristalizare din topitură presupune formarea germenilor de cristalizare și creșterea cristalelor. Aceste două procese se desfășoară cu viteze practic independente. Viteza fiecărui proces înregistrează un maxim în funcție de gradul de subrăcire al sistemului. Structura fazei solide care se formează este determinată de raportul dintre vitezele cu care se desfășoară procesul de nucleație și procesul de creștere a cristalelor (dependente la rîndul lor, în condiții compoziționale date, de temperatura sistemului). Este de dorit ca procesul de răcire să fie astfel condus încît să asigure o viteză mare de apariție a germenilor de cristalizare și o viteză mică de creștere a acestora ; structura astfel obținută conține un număr foarte mare de cristale foarte fine, ceea ce conferă clincherului de o anumită compoziție mineralogică, proprietăți hidraulice superioare. Apare evident că o conducere judicioasă a procesului de răcire a clincherului prezintă o importanță deosebită pentru calitatea acestuia, atît în

Scanned with OKEN Scanner

ceea ce privește obținerea unei compoziții mineralogice cît mai avantajoase (cu conținut maxim de alit), cît și referitor la rezervele de ordin cristalochimic amintite anterior.

Modul în care se realizează răcirea influențează *aptitudinea la măcinare* a clincherului în sensul că, prin răcire rapidă se obțin structuri tensionate care se macină mai ușor. Consumul de energie electrică pentru măcinarea cimentului fiind destul de mare, orice creștere a aptitudinii la măcinare a clincherului (deci reducere a consumului de energie pentru realizarea unei aceleiași finețI de măcinare) înseamnă o importantă economie de energie electrică, ce se reflectă în reducerea prețului de cost.

7.2.3. MINERALIZATORI AI PROCESULUI DE FORMARE A CLINCHERULUI DE CIMENT PORTLAND

Mineralizatori se numesc acele substanțe care, adăugate în cantități mici în compoziția amestecului brut, determină intensificarea procesului de formare a clincherului, îmbunătățind uneori și proprietățile hidraulice ale cimentului care rezultă la măcinarea acestui clincher. Acțiunea acceleratoare se poate manifesta cu intensitate diferită în diferitele etape ale procesului de formare a clincherului.

Acțiunea mineralizatorilor asupra *reacțiilor care se petrec în fază solidă,* la temperaturi relativ joase, poate consta în :

— deformarea rețelei unora dintre reactanți, care în felul acesta devin mai reactivi ;

— formarea unor compuși intermediari reactant-adaos, instabili, care facilitează desfășurarea reacțiilor în fază solidă cu ceilalți reactanți ;

— efect catalizator.

Influența cea mai importantă a substanțelor folosite ca mineralizatori se manifestă asupra *procesului de formare a fazei lichide în sistem,* fie prin coborîrea temperaturii de apariție a acesteia sau prin scăderea viscozității ei, fie prin creșterea cantității de fază lichidă formată la o anumită temperatură (aceste tipuri de influențe se pot manifesta și concomitent). Prin aceasta se intensifică procesele de difuzie, în special a oxidului de calciu, ceea ce avantajează formarea alitului.

Cunoștințele privind influența mineralizatorilor asupra *proceselor de cristalizare* sînt mai restrînse ; va trebui însă ca în viitor să se acorde o importanță mai mare cercetărilor în această direcție, deoarece prin controlarea proceselor de cristalizare a componenților mineralogici ai clincherului, în special a alitului, se pot obține îmbunătățiri ale proprietăților hidraulice ale cimenturilor. Este de așteptat

Scanned with OKEN Scanner

să se obțină rezultate bune în acest sens cu substanțe care favorizează procesul de apariție a germenilor de cristalizare, fără să accelereze și viteza de creștere a cristalelor, rezultînd astfel multe cristale mici, dar bine dezvoltate, sau substanțe care să determine dezvoltarea preferențială a cristalelor (în special de alit) după una sau două direcții cristalografice.

În prezent există informații privind acțiunea mineralizatoare a unor substanțe cum sînt compuși cu fluor, sulfați, oxizi (Fe_2O_3, TiO_2, MnO_2, Mn_2O_3), adaosuri complexe (fosfoghips, fluoroghips, zguri din metalurgia neferoasă).

Un efect mineralizator foarte important exercită compuși cu fluor de tipul fluorurilor (NaF, KF, CaF_2) sau fluorosilicaților (Na_2SiF_6, $CaSiF_6$), care, introduși în amestecul de materii prime în cantități foarte mici (sub 1%) favorizează formarea și proprietățile clincherelor portland. Utilizarea lor este totuși limitată de caracterul lor puternic nociv.

Un efect mineralizator comparabil exercită sulfații de calciu și feros ($CaSO_4$, $FeSO_4$) care au în plus avantajul de a nu fi toxici.

Pentru a se aprecia efectul mineralizator global al unor adaosuri se iau în considerație, de regulă, temperatura de clincherizare și proprietățile de rezistență mecanică ale cimentului mineralizat, în comparație cu caracteristicile unui ciment similar obținut din clincher nemineralizat.

7.3. HIDRATAREA ȘI ÎNTĂRIREA CIMENTULUI PORTLAND

Întărirea cimentului portland este rezultatul unor procese fizico-chimice complexe, care se desfășoară în sistemul ciment—apă și se influențează reciproc. Pentru înțelegerea acestor fenomene complexe este utilă examinarea proceselor care au loc în sistemele silicați de calciu—apă, aluminați de calciu—apă, feritaluminați de calciu—apă, cum și a unor factori care influențează aceste procese.

7.3.1. HIDRATAREA SILICAȚILOR DE CALCIU

Silicații de calciu — $3\,CaO \cdot SiO_2$ și $2\,CaO \cdot SiO_2$, constituie componenții mineralogici principali ai cimentului portland, intervenind în compoziția acestuia cu o pondere de 70—80%. Aceasta face ca procesele de hidratare-hidroliză a lor să joace un rol hotărîtor pentru întărirea cimentului.

Solubilitatea în apă a silicaților de calciu este mai mică decît cea constatată pentru alți componenți ai clincherului — aluminați de

Scanned with OKEN Scanner

calciu sau oxid de calciu. Se constată, de asemenea, că silicatul tricalcic interacționează mai repede cu apa decît cel dicalcic, fapt explicat prin bazicitatea sa mai ridicată. Cercetări experimentale efectuate pe sisteme silicați de calciu—apă au pus în evidență formarea, în condiții normale, a unor hidrosilicați care se separă ca microcristale și, de asemenea, apariția unor cristale hexagonale de $Ca(OH)_2$.

Raportul CaO/SiO_2 din hidrosilicați este dependent de concentrația în oxid de calciu a soluției din care se formează. În funcție de acest raport, ei au fost definiți de Taylor astfel :

— CSH (I) pentru raportul $CaO/SiO_2 = 1 \ldots 1{,}5$ (se formează la concentrații de 1,4 . . . 18 mmoli CaO/l) ;

— CSH (II) pentru raportul $CaO/SiO = 1{,}5 \ldots 2$ (se formează la concentrații mai mari de 18 mmoli CaO/l).

Acești hidrosilicați sînt asemănători cu mineralul natural *tobermorit*, fapt pentru care sînt denumiți și *hidrosilicați de calciu tobermoritici*.

Pentru reacțiile de hidratare-hidroliză ale silicaților de calciu din cimentul portland se poate scrie :

$$3\ CaO \cdot SiO_2 + p\ H_2O \begin{cases} \nearrow \text{CSH (I)} + n\ Ca(OH)_2 \\ \searrow \text{CSH (II)} + m\ Ca(OH)_2 \end{cases}$$

$$2\ CaO \cdot SiO_2 + p\ H_2O \begin{cases} \nearrow \text{CSH (I)} + n\ Ca(OH)_2 \\ \searrow \text{CSH (II)} + m\ Ca(OH)_2 \end{cases}$$

Este evident că la hidratarea-hidroliza silicatului tricalcic se pune în libertate o cantitate mai mare de $Ca(OH)_2$ decît la interacțiunea cu apa a silicatului dicalcic, ceea ce influențează direct ponderea cu care se formează cei doi hidrosilicați de tip tobermoritic.

7.3.2. HIDRATAREA ALUMINAȚILOR DE CALCIU

Dintre aluminații de calciu, în clincherul de ciment portland se găsesc în primul rînd, aluminatul tricalcic — $3\ CaO \cdot Al_2O_3$ și, în cantități mai mici, compusul $12\ CaO \cdot 7\ Al_2O_3$. Prin reacția cu apa a acestor compuși, se formează inițial, hidroaluminați de calciu cristalizați hexagonal, avînd compoziția $2\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot m\ H_2O$ ($m = 8 \ldots 10$) și $4\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot n\ H_2O$ ($n = 13 \ldots 19$). Aceștia au un caracter instabil și se transformă în timp și îndeosebi la temperaturi mai ridicate (peste 20 . . . 25 °C) în hidroaluminatul cubic ($3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O$. Transformarea hidroaluminaților dicalcici hexagonali în hidroaluminat tricalcic cubic este favorizată de condițiile de bazicitate existente la hi-

Scanned with OKEN Scanner

dratarea cimentului portland. Schematic, reacțiile de hidratare a aluminaților de calciu se pot scrie astfel :

$$3\ CaO \cdot Al_2O_3 + H_2O \rightarrow 2\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot m\ H_2O$$
$$4\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot n\ H_2O$$

$$12\ CaO \cdot 7\ Al_2O_3 + H_2O \xrightarrow{Ca(OH)_2} 2\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot m\ H_2O$$

$$2\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot m\ H_2O \xrightarrow{Ca(OH)_2} 3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O$$

$$4\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot n\ H_2O \rightarrow 3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O + Ca(OH)_2$$

În prezența ghipsului adăugat la măcinarea cimentului, la hidratarea aluminaților de calciu se formează săruri complexe, de tipul $3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3\ CaSO_4 \cdot 31\ H_2O$, asemănătoare cu etringitul natural, respectiv de tipul $3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12\ H_2O$.

7.3.3. HIDRATAREA COMPUȘILOR CONȚINÎND Fe_2O_3

Principalii compuși feritici care se găsesc în clincherul de ciment portland (independenți sau în soluții solide) sînt feritaluminatul tetracalcic — $4\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ și feritul dicalcic — $2\ CaO \cdot Fe_2O_3$. Prin hidratarea acestora se formează hidroferiți asemănători cu hidroaluminații de calciu :

— *$4\ CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 13\ H_2O$* hexagonal este stabil în soluții avînd peste 1,06 g CaO/l, iar la concentrații sub această limită se transformă în compusul $3\ CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 6\ H_2O$; formează soluții solide cu hidroaluminatul corespunzător ;

— *$3\ CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 6\ H_2O$* cubic formează soluții solide cu hidroaluminatul $3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O$; la scăderea concentrației soluției sub 0,64 g CaO/l hidroferitul tricalcic hidrolizează pînă la formarea de hidroxid de fier ;

— *$2\ CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 2\ H_2O$* hexagonal rezultă direct la hidratarea feritului dicalcic în condiții normale și are stabilitate redusă în condițiile de bazicitate existente la hidratarea cimentului portland.

La hidratarea feritaluminatului tetracalcic apar diferențe esențiale în compoziția compușilor de hidratare, în funcție de raportul apă/solid. În cazul folosirii unui exces de apă se formează îndeosebi hidroaluminați hexagonali și foarte puțin hidroaluminați cubici, formarea de hidroferiți fiind puțin semnificativă.

Dacă hidratarea se face în prezența unei cantități minime de apă, se pare că procesul decurge în două stadii care pot fi descrise de relațiile :

$$4\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 + m\ H_2O \rightarrow 3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O + CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot n\ H_2O$$

$$CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot n\ H_2O + 2\ Ca(OH)_2 \rightarrow 3\ CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 6\ H_2O + x\ H_2O$$

Scanned with OKEN Scanner

Hidroaluminații și hidroferiții rezultați formează soluții solide de tipul $3\,CaO\cdot(Al, Fe)_2O_3\cdot 6\,H_2O$. Creșterea temperaturii favorizează formarea acestor compuși.

7.3.4. ÎNTĂRIREA SISTEMULUI CIMENT PORTLAND—APĂ

Procesele fizico-chimice complexe care se desfășoară în sistemul ciment portland—apă și conduc în final la formarea unei structuri de întărire rezistente, au constituit obiectul unui mare număr de lucrări de cercetare. Pe baza informațiilor obținute se poate prezenta următoarea imagine a procesului de întărire a cimentului portland :

Reacțiile de hidratare hidroliză încep imediat după amestecarea cu apa a cimentului. Pe de o parte, are loc dizolvarea însoțită de hidroliză a componenților mai solubili din ciment, iar pe de altă parte se constată formarea unor produși hidratați gelici, direct pe suprafața granulelor anhidre de ciment, prin adiție de molecule de apă (deci prin reacție topochimică). Primul proces, de dizolvare-hidroliză, determină saturarea soluției intergranulare cu ioni Ca^{2+}, SO_4^{2-}, OH^-, din care se separă ulterior $Ca(OH)_2$, hidrosulfataluminați de calciu, hidrosilicați de calciu de tip tobermoritic. În timp, are loc o diminuare progresivă a granulelor anhidre de ciment, paralel cu umplerea spațiului dintre ele cu formațiuni hidratate. Acestea au la început un caracter preponderent gelic și o suprafață specifică foarte mare datorită unui sistem de pori și canale ramificate prin toată masa de gel. Înaintarea hidratării determină densificarea și structurarea gelului, însoțită de micșorarea și închiderea porilor, ceea ce asigură pietrei de ciment întărite impermeabilitate la apă. Schematic, acest proces poate fi reprezentat ca în fig. 7.2.

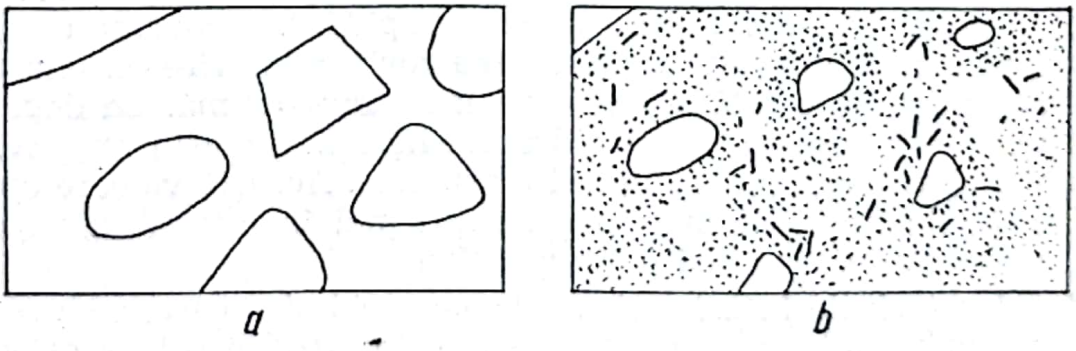


Fig. 7.2. Formarea pietrei de ciment :
a — granule de clincher înainte de hidratare; *b* — stadiu de hidratare avansat (resturile de granule anhidre sînt înglobate într-o masă din gel tobermoritic (puncte), hidrosulfataluminați de calciu (baghete) și pori (spații libere).

Scanned with OKEN Scanner

7.3.5. FACTORI CARE INFLUENȚEAZĂ PROCESUL DE ÎNTĂRIRE

Desfășurarea proceselor de hidratare-hidroliză care conduc la întărirea cimentului portland este influențată, în principal, de următorii factori :

— compoziția mineralogică reală a cimentului ;

— finețea de măcinare a cimentului ;

— prezența unor adaosuri accelératoare sau întîrzietoare ale procesului de întărire ;

— condițiile de întărire (raportul apă/ciment, procedeul de punere în lucru, temperatura).

Compoziția mineralogică reală a cimentului este determinată de compoziția amestecului brut și de condițiile de ardere și răcire a clincherului. Ponderea diferiților componenți mineralogici corelată cu viteza cu care aceștia interacționează cu apa, determină natura și compoziția produșilor de hidratare-hidroliză, cu consecințe asupra procesului de întărire. Un conținut ridicat de alit determină formarea unei cantități sporite de $Ca(OH)_2$; bazicitatea mai ridicată a soluției intergranulare în aceste condiții, mărește stabilitatea hidroaluminaților cu bazicitate ridicată. Viteza de interacțiune a aluminatului tricalcic cu apa este mare în comparație cu cea corespunzătoare celorlalți componenți mineralogici ; în consecință, un ciment cu conținut ridicat de C_3A se caracterizează printr-o întărire rapidă. Efectul unui conținut ridicat de silicat dicalcic se manifestă prin desfășurarea cu viteză mai mică a proceselor de hidratare-hidroliză, care conduce la o întărire mai lentă.

Finețea de măcinare a cimentului influențează în mod important viteza cu care se desfășoară procesul de întărire a cimenturilor. În mod obișnuit, finețea de măcinare a cimenturilor, exprimată prin suprafața specifică Blaine, are valori de aproximativ 2 500 ... 3 000 cm^2/g pentru cimenturile portland normale și 3 500 ... 4 500 cm^2/g în cazul cimenturilor cu întărire rapidă. S-a constatat experimental că pentru dezvoltarea unei structuri de întărire cu rezistență mecanică maximă există o finețe de măcinare optimă. La depășirea acesteia, viteza proceselor de hidratare-hidroliză crește excesiv, determinînd formarea unei structuri tensionate. Această valoare optimă se situează la fineți de măcinare cu atît mai înaintate, cu cît compoziția cimentului este mai puțin reactivă.

Acceleratorii de întărire sînt substanțe chimice care, adăugate în proporții mici, măresc viteza procesului de întărire prin accelerarea reacțiilor de hidratare-hidroliză și consolidarea hidroformațiunilor rezultate în structuri rezistente. Ei pot determina și compactarea pietrei de ciment ca urmare a unor interacțiuni adaos accelerator—

Scanned with OKEN Scanner

hidrocompuși ai cimentului. De regulă, acțiunea adaosurilor accelératoare este destul de complexă, iar o dozare necorespunzătoare a lor poate duce la anularea efectului accelerator sau chiar la o influență contrară. Cel mai cunoscut accelerator de întărire este clorura de calciu dozată în proporție 0,5—3%.

Întîrzietorii de întărire sînt substanțe chimice care, adăugate în proporție redusă, micșorează viteza de interacțiune cu apa a cimentului.

Din această grupă, acțiunea sulfatului de calciu, care se adaugă obligatoriu la măcinarea cimentului, este tipică pentru întîrzierea întăririi cimentului portland. Gipsul creează o suprasaturare în CaO a soluției din pasta de ciment, întîrziind formarea inițială de $Ca(OH)_2$ prin hidratarea-hidroliza silicaților de calciu. El favorizează formarea etringitului — $3\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3\,CaSO_4 \cdot 31\,H_2O$, care se depune sub formă de pelicule pe suprafața granulelor anhidre, îngreuînd hidratarea acestora. După consumarea gipsului, etringitul se poate transforma parțial în $3\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12\,H_2O$. Cristalele de hidrosulfataluminați contribuie la formarea structurii de rezistență a cimentului portland.

Condițiile de întărire pot influența în măsură importantă formarea structurii de rezistență a cimentului.

Valoarea raportului *a/c* trebuie astfel aleasă, încît să asigure apa necesară proceselor de hidratare-hidroliză, dar și posibilitatea realizării unei paste (mortar, beton) omogene care să se poată pune cu ușurință în lucru. Valoarea raportului *a/c*, teoretic necesară pentru desfășurarea reacțiilor de hidratare-hidroliză este de aproximativ 0,25 ; în practică se lucrează, de regulă, cu rapoarte $a/c = 0{,}5 \ldots 0{,}6$.

Cu cît condițiile de punere în lucru sînt mai energice (amestecare mecanică forțată, compactare prin vibrare sau șocuri mecanice), valoarea raportului *a/c* poate fi mai mică (fără a ajunge însă la cantitatea de apă teoretic necesară pentru procesele de hidratare-hidroliză). O cantitate mare de apă de amestecare conferă pietrei de ciment întărite o structură excesiv de poroasă, cu consecințe negative asupra proprietăților sale mecanice.

Ridicarea temperaturii accelerează desfășurarea proceselor de hidratare-hidroliză, determinînd dezvoltarea rapidă a structurii de întărire. S-a constatat că ridicarea temperaturii determină modificări în compoziția produșilor de hidratare și o creștere a dimensiunilor cristalelor de hidrosilicați, ceea ce conduce la formarea unei structuri de întărire mai grosiere, mai puțin compacte, cu consecințe negative asupra rezistențelor mecanice. Astfel, rezistența mecanică ma-

Scanned with OKEN Scanner

ximă la care poate ajunge un ciment portland prin întărire în condiții normale, va fi totdeauna mai mare decît rezistența aceluiași ciment întărit în condiții hidrotermale.

7.3.6. APLICAȚII

A. Se consideră că 1 kg de C_3A se hidratează, cu formare de C_4AH_{13}. Se cere :

a) să se scrie reacția de hidratare ;

b) să se calculeze cantitatea de apă stoechiometric necesară pentru hidratare, la un grad de transformare de 73%, respectiv 100% ;

c) să se calculeze cantitatea de C_4AH_{13} rezultată prin hidratare, la un grad de transformare de 73%, respectiv 100% ;

d) să se calculeze cantitatea de $Al(OH)_3$ rezultată prin hidratare, la un grad de transformare de 73%, respectiv 100%.

Răspunsuri :

a) $4(3\,CaO\cdot Al_2O_3)+42\,H_2O\rightarrow 3(4\,CaO\cdot Al_2O_3\cdot 13\,H_2O)+2\,Al(OH)_3$;

b) 0,511 kg H_2O ; 0,7 kg H_2O ;

c) 1,105 kg C_4AH_{13} ; 1,514 kg C_4AH_{13} ;

d) 0,106 kg $Al(OH)_3$; 0,145 kg $Al(OH)_3$.

B. Ca rezultat al hidratării silicatului dicalcic se formează un hidrosilicat de calciu de tip tobermoritic ($5\,CaO\cdot 6\,SiO_2\cdot 5{,}5\,H_2O$). Interacțiunea cu apa a silicatului dicalcic desfășurîndu-se cu viteză mică, proporția de C_2S transformat după 3 zile este de 12%, după 7 zile — de 18%, iar după 28 zile — de 31%. Se cere :

a) să se scrie reacția de hidratare ;

b) să se calculeze cantitatea de hidrosilicat tobermoritic rezultată după 3, 7 și 28 zile, la hidratarea unui kg de $2\,CaO\cdot SiO_2$;

c) considerînd că hidroxidul de calciu pus în libertate în reacția de hidratare-hidroliză se carbonatează sub acțiunea CO_2 din atmosferă, în proporție de 30%, să se calculeze cantitatea de $CaCO_3$ existentă în proba de 1 kg $2\,CaO\cdot SiO_2$ hidratată, după 3, 7 și 28 zile ;

d) să se calculeze compoziția procentuală în $2\,CaO\cdot SiO_2$, $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$ și $5\,CaO\cdot 6\,SiO_2\cdot 5{,}5\,H_2O$, pentru proba hidratată 28 zile (proba se consideră uscată).

Răspunsuri :

a) $6(2\,CaO\cdot SiO_2)+12{,}5\,H_2O\rightarrow 5\,CaO\cdot 6\,SiO_2\cdot 5{,}5\,H_2O+7\,Ca(OH)_2$;

b) 0,086 kg $C_5S_6H_{5,5}$ după 3 zile ; 0,129 kg $C_5S_6H_{5,5}$ după 7 zile ; 0,22 kg $C_5S_6H_{5,5}$ după 28 zile ;

Scanned with OKEN Scanner

c) 0,024 kg $CaCO_3$ după 3 zile ; 0,036 kg $CaCO_3$ după 7 zile ; 0,063 kg $CaCO_3$ după 28 zile ;

d) 63,83% C_2S ; 20,35% $C_5S_6H_{5,5}$; 9,99% $Ca(OH)_2$; 5,83% $CaCO_3$.

C. Se dă un ciment portland cu 58% C_3S și 20% C_2S. În urma interacțiunii cu apa a silicaților de calciu din ciment rezultă hidrosilicat de calciu de tip tobermoritic ($5\,CaO \cdot 6\,SiO_2 \cdot 5,5\,H_2O$) și $Ca(OH)_2$. Considerînd că după 28 zile de întărire s-au transformat în hidrocompuși 95% din cantitatea inițială de C_3S și 30% din cantitatea inițială de C_2S, se cere :

a) să se scrie ecuațiile de hidratare ;

b) să se calculeze cantitatea de $C_5S_6H_{5,5}$ și $Ca(OH)_2$ formată după 28 zile la hidratarea a 10 kg de ciment ;

c) să se calculeze cantitatea de apă stoichiometric necesară desfășurării reacțiilor de hidratare de la punctul b.

Răspunsuri :

a) $6(3\,CaO \cdot SiO_2) + 18,5\,H_2O \rightarrow 5\,CaO \cdot 6\,SiO_2 \cdot 5,5\,H_2O + 13\,Ca(OH)_2$
$6(2\,CaO \cdot SiO_2) + 12,5\,H_2O \rightarrow 5\,CaO \cdot 6\,SiO_2 \cdot 5,5\,H_2O + 7\,Ca(OH)_2$;

b) 3,41 kg $C_5S_3H_{5,5}$; 4,17 kg $(Ca(OH)_2$;

c) 1,47 kg H_2O.

D. Conținutul de $3\,CaO \cdot Al_2O_3$ al unui ciment portland este de 12%, iar conținutul de SO_3 (adăugat ca ghips la măcinarea cimentului) este de 2,5%. În timpul hidratării toată cantitatea de SO_3 se leagă sub formă de etringit, iar aluminatul tricalcic rămas după formarea etringitului, în prezența $Ca(OH)_2$ rezultat din hidroliza silicaților de calciu, se transformă în $4\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13\,H_2O$. Se cere :

a) să se scrie ecuațiile de formare a etringitului și hidroaluminatului tetracalcic ;

b) să se calculeze cantitatea de etringit, respectiv hidroaluminat tetracalcic, formate la hidratarea totală a 100 kg ciment ;

c) să se calculeze cantitatea de $Ca(OH)_2$ consumată la formarea hidroaluminatului tetracalcic de la punctul b ;

d) să se calculeze cantitatea de apă necesară formării etringitului și hidroaluminatului tetracalcic de la punctul b.

Răspunsuri :

a) $3\,CaO \cdot Al_2O_3 + 3(CaSO_4 \cdot 2\,H_2O) + 25\,H_2O \rightarrow 3\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3\,CaSO_4 \cdot 31\,H_2O$;
$3\,CaO \cdot Al_2O_3 + Ca(OH)_2 + 12\,H_2O \rightarrow 4\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13\,H_2O$;

b) 12,875 kg etringit ; 19,06 kg C_4AH_{13} ;

c) 2,52 kg $Ca(OH)_2$;

d) 7,35 kg H_2O.

Scanned with OKEN Scanner

7.4. PROPRIETĂȚILE CIMENTULUI PORTLAND

7.4.1. DENSITATEA ȘI GREUTATEA VOLUMICĂ A CIMENTULUI PORTLAND

Densitatea cimentului portland are valori cuprinse între 2,8 și 3,2 g/cm^3. Această caracteristică este dependentă de compoziția chimică și mineralogică a cimentului. Astfel, un conținut ridicat de C_4AF sau prezența oxidului de bariu în anumite cimenturi speciale (de protecție împotriva radiațiilor) determină creșterea importantă a densității cimentului respectiv (C_4AF are densitatea 3,77 g/cm^3, iar prezența BaO în amestecul brut determină formarea de silicați de bariu a căror densitate are valori mai mari de 5 g/cm^3).

Greutatea volumică a cimentului variază, în funcție de gradul său de tasare, între 9 000 și 13 000 N/m^3 pentru ciment afînat și 15 000—19 000 N/m^3 pentru ciment tasat (depozitat o perioadă mai îndelungată). În calculele pentru dimensionarea silozurilor de ciment, pentru greutatea volumică se consideră o valoare medie egală cu 14 500 N/m^3.

7.4.2. APA PENTRU PASTA DE CONSISTENȚĂ NORMALĂ

Reprezintă cantitatea de apă cu care trebuie amestecat cimentul pentru ca să asigure desfășurarea completă a proceselor de hidratare-hidroliză a constituenților săi mineralogici și totodată să formeze o pastă lucrabilă. Pentru obținerea unei paste lucrabile se consumă o cantitate de apă mai mare decît cea necesară pentru procesele de hidratare-hidroliză.

Determinarea apei de consistență normală se face conform indicațiilor din STAS 227-78.

Cantitatea de apă necesară obținerii unei consistențe normale este influențată de o serie de factori :

— compoziția mineralogică a cimentului ; cimenturi cu conținut ridicat de C_3A necesită o cantitate mai mare de apă, în timp ce pentru un conținut mare de C_2S este necesară o cantitate mai redusă de apă ;

— finețea de măcinare a cimentului ; o măcinare înaintată implică o cantitate mai mare de apă de amestecare ;

— introducerea unor adaosuri fluidificatoare permite reducerea cantității de apă necesară obținerii unei paste de consistență normală.

Scanned with OKEN Scanner

7.4.3. TIMPUL DE PRIZĂ

În vederea punerii în lucru a cimentului prezintă un interes deosebit cunoașterea intervalului de timp între amestecarea cu apa a acestuia și rigidizarea pastei (mortarului sau betonului) de ciment. Acest interval este definit de timpul de priză, caracterizat prin *începutul de priză* și *sfîrșitul de priză*. Aceste două noțiuni sînt mărimi convenționale, valoarea lor depinzînd de mulți factori, motiv pentru care determinarea timpului de priză trebuie să se facă în condiții standard pentru a se obține valori comparabile pentru diferite tipuri de ciment. Cea mai răspîndită este metoda determinării timpului de priză cu aparatul Vicat (STAS 227-78). Începutul de priză este reprezentat de intervalul de timp de la prepararea pastei pînă cînd acul aparatului Vicat nu mai străbate întreaga grosime a acesteia. Sfîrșitul de priză este reprezentat de intervalul de timp de la prepararea pastei pînă cînd acul Vicat pătrunde în pastă mai puțin de 1 mm.

Pentru cimentul portland normal, începutul de priză trebuie să aibă loc nu mai de vreme de 1 oră, la cimenturile cu întărire rapidă (RIM) priza nu trebuie să înceapă mai devreme de 45 min, iar în cazul celor cu priză lentă, începutul de priză poate avea loc după 5—7 ore. Limita pentru sfîrșitul de priză este în toate cazurile de 10 ore.

Asupra timpului de priză influențează o serie de factori cum sînt : compoziția mineralogică a cimentului, finețea sa de măcinare, temperatura de lucru, prezența unor adaosuri modificatoare de priză.

Compoziția mineralogică a cimentului are o influență hotărîtoare asupra timpului de priză. Un conținut ridicat în aluminat tricalcic determină scurtarea timpului de priză, în timp ce un conținut ridicat în silicat dicalcic are acțiune contrară. Supraarderea clincherului determină prelungirea timpului de priză, în timp ce un clincher insuficient ars imprimă cimentului o priză rapidă.

Creșterea *fineței de măcinare* a cimentului determină scurtarea timpului de priză.

Păstrarea clincherului și mai ales *păstrarea cimentului* pot avea drept urmare o hidratare-hidroliză parțială a acestuia. Sub acțiunea CO_2 din atmosferă, produșii de hidratare-hidroliză se pot carbonata și forma învelișuri în jurul granulelor, îngreunînd hidratarea lor ulterioară, ceea ce determină prelungirea timpului de priză.

Creșterea temperaturii are, în general, o acțiune accelerătoare asupra timpului de priză.

Timpul de priză al cimenturilor poate fi influențat prin adăugarea anumitor substanțe — accelerători și întîrzietori, despre acțiunea cărora s-a discutat la întărirea cimentului portland.

Scanned with OKEN Scanner

7.4.4. VARIAȚIA DE VOLUM ÎN TIMPUL ÎNTĂRIRII

În general, pasta de ciment care se întărește, prezintă modificări ale volumului, în sensul că, la păstrarea în apă își mărește volumul iar în mediu uscat și-l micșorează. În timp aceste variații de volum se atenuează, rezultanta lor avînd caracter de contracție.

Fenomenul de umflare este mai periculos și duce la distrugerea structurii de rezistență a pietrei de ciment întărite. El se datorește prezenței în compoziția cimentului a oxidului de calciu nelegat (supraars la temperatura de clincherizare) sau oxidului de magneziu sub formă de periclaz (îndeosebi la clinchere răcite lent) a căror reactivitate față de apă este mică. Hidratarea lor întîrziată, însoțită de mărire de volum, determină tensionarea structurii de rezistență a pietrei de ciment întărite, care poate duce pînă la distrugerea acesteia. În cimenturile portland obișnuite, conținutul de CaO liber se limitează la 2%, iar în cimenturi portland cu proprietăți deosebite (de ex. cimenturi RIM sau pentru produse de azbociment) — la maximum 1%.

Apariția fenomenului de umflare poate fi determinată și de o dozare necorespunzătoare a gipsului adăugat la măcinarea cimentului. O cantitate prea mare de gips determină formarea de hidrosulfat-aluminat de calciu în proporții importante, iar volumul mare al acestui compus poate provoca fenomene de expansiune.

Aprecierea variației de volum la întărirea cimentului se face prin determinarea constanței de volum, folosind metoda acelor Lé Chatelier (cantitativ) sau metoda turtelor (calitativ) — STAS 227-78. Informații mai rapide se pot obține prin metoda autoclavizării (STAS 2832-71).

7.4.5. CĂLDURA DEGAJATĂ LA HIDRATARE

Procesul de hidratare a constituenților are loc cu degajare de căldură (este exoterm). Efectul pe care acest fenomen îl are asupra comportării cimentului care se întărește depinde de viteza cu care se degajă căldura și de condițiile în care se face dispersarea sa în mediul ambiant.

Dacă viteza de degajare a căldurii este mică sau dacă ea este înlăturată rapid de la locul de degajare, nu se constată o influență negativă asupra formării structurii de rezistență a betonului.

Dacă degajarea căldurii se face cu viteză mare și ea nu poate fi înlăturată imediat, are loc o încălzire a masei de beton în curs de întărire, care poate duce la apariția unor tensiuni termice ; la răcirea ulterioară pot apărea contracții. Dacă intensitatea acestor feno-

Scanned with OKEN Scanner

mene depășește anumite limite, ele determină fisurarea masei de beton întărit și compromiterea rezistențelor mecanice. Din acest punct de vedere trebuie să se acorde o atenție deosebită cimentului folosit la realizarea unor construcții masive (diguri, baraje). Determinarea căldurii de hidratare se poate face prin metoda termosului după indicațiile din STAS 2248/2-74.

Procesul de degajare a căldurii la hidratarea cimentului este influențat de :

— *compoziția sa mineralogică ;* datele prezentate în tabelul 7.2 evidențiază clar că răspunzător pentru dezvoltarea rapidă a unor cantități mari de căldură este în primul rînd aluminatul tricalcic,

Tabelul 7.2

Compartimentul mineralogic	Căldura degajată la hidratare (J/g), după :				
	3 zile	7 zile	28 zile	90 zile	180 zile
C_3S	410±20	460±20	475±20	510±20	505±20
$\beta-C_2S$	80±20	75±15	185±75	230±15	222±8
C_3A	710±80	785±80	920±80	785±75	910±45
C_2AF	126±75	180±65	200±75	196±65	305±40

urmat de silicatul tricalcic ; prin urmare, pentru construcții masive se recomandă folosirea unor cimenturi cu conținut de aluminat tricalcic cît mai mic (sub 5%) și cu un conținut moderat de silicat tricalcic (35—55%), sau chiar redus (20—35%) ;

— *finețea de măcinare* a cimentului influențează viteza de dezvoltare a căldurii, prin urmare, influența sa se manifestă mai ales la termene mici de întărire.

Procesul de degajare a căldurii de hidratare la întărirea unui ciment portland este influențat, de asemenea, de gradul de ardere a clincherului, de durata de însilozare a clincherului, respectiv a cimentului, de raportul apă/ciment, de prezența unor substanțe accelératoare sau întîrzietoare, de prezența în amestec a unor adaosuri hidraulice sau inerte.

7.4.6. REZISTENȚA MECANICĂ A CIMENTULUI PORTLAND

Capacitatea de a dezvolta rezistențe mecanice reprezintă proprietatea cea mai importantă a cimentului portland. Ea dă indicații asupra comportării cimentului în construcții. Dată fiind importanța re-

zistenței mecanice la compresiune, în funcție de aceasta se apreciază *marca cimenturilor*. În cazul cimenturilor portland normale, marca reprezintă valoarea minimă a rezistenței la compresiune pe care trebuie să o dezvolte un mortar normal, după 28 zile de întărire în condiții standard (condițiile de preparare, păstrare și încercare a epruvetelor pentru determinarea mărcii unui ciment portland sînt reglementate de STAS 227-78). Notarea cimenturilor se face P 30, P 40, PZ 35, M 25 etc. în care literele P, PZ, respectiv M simbolizează tipul cimentului (portland, portland cu zgură, metalurgic), iar cifra exprimă rezistența minimă la compresiune, după 28 zile de întărire (N/mm^2), determinată pe mortare vîrtoase (STAS 227-78). Pe mortare plastice (STAS 5156-74) se obțin valori ceva mai mici, aceste mortare se apropie însă mai mult de condițiile de punere în operă pe șantier. În tabelul 7.3 se prezintă, pentru exemplificare, rezis-

Tabelul 7.3

Marca cimentului	Rezistența la compresiune N/mm^2			Rezistența la tracțiune N/mm^2		
	3 zile	7 zile	28 zile	3 zile	7 zile	28 zile
P40	20,0	28,0	40,0	2,0	2,5	2,8
P50	26,0	38,0	50,0	2,5	3,0	3,4

tențele mecanice ale unor cimenturi întărite în diferite perioade de timp, determinate pe mortare vîrtoase.

Dezvoltarea rezistențelor mecanice la întărirea cimenturilor este influențată de mulți factori.

Compoziția cimenturilor are o influență hotărîtoare asupra dezvoltării rezistențelor mecanice. Compoziția mineralogică reală (condiționată de compoziția oxidică și de condițiile de ardere și răcire a clincherului) este de fapt cea care, păstrînd constante celelalte condiții, determină valoarea rezistențelor mecanice și viteza cu care se dezvoltă acestea. Ilustrativ în acest sens sînt datele înscrise în tabelul 7.4. Trebuie menționat că, la întărirea cimentului portland, hidratarea silicatului dicalcic este accelerată, astfel încît acesta contribuie în măsură ceva mai mare la dezvoltarea structurii de rezistență a pietrei de ciment întărite, decît ar rezulta din datele înscrise în tabelul 7.4. Aceste date evidențiază încă odată necesitatea adoptării unui asemenea mod de răcire a clincherului, care să asigure dezvoltarea unei cantități maxime de alit.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.4

Constituentul mineralogic	Apă %	Rezistența la compresiune (N/mm²) după				
		3 zile	7 zile	28 zile	90 zile	180 zile
$3CaO \cdot SiO_2$	13	24,7	31,6	45,9	58,8	59,0
$\beta - 2CaO \cdot SiO_2$	13	0,3	1,4	3,5	4,3	12,5
$3CaO \cdot Al_2O_3$	13	7,7	8,3	7,2	6,9	6,6
$4CaO \cdot Al_2O_3\ Fe_2O_3$	13	11,7	13,4	14,9	18,5	27,9

Notă: Rezistențele au fost determinate pe microprobe Kühl

În fig. 7.3 s-a prezentat comportarea la întărire a unor cimenturi care diferă între ele prin ponderea pe care o au componenții mineralogici principali.

Foarte utile pentru practică sînt încercările de a corela proprietățile de rezistență mecanică cu caracteristicile modulare ale cimenturilor. S-a încercat trasarea unor curbe de echirezistență în diagrame modulare bidimensionale $M_{Si} - M_{Al}$, pentru diferite valori ale gradului de saturație — fig. 7.4 și 7.5. Trebuie menționat că aceste diagrame au doar valoare orientativă, dată fiind complexitatea fenomenelor care determină formarea structurii de rezistență. Cercetări recente conduc la concluzia că în diagramă modulară bidimensională $M_{Si}—M_{Al}$ se pot stabili domenii compoziționale corespunzătoare unor rezistențe mecanice mari, rezistențe mecanice medii și

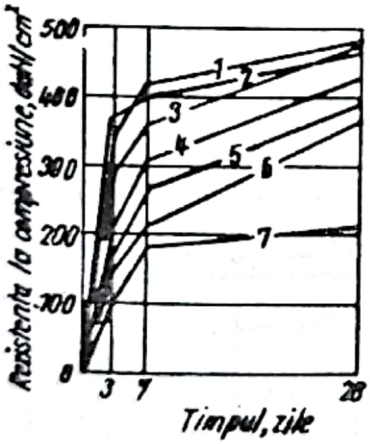


Fig. 7.3. Variația rezistenței la compresiune pe mortare standard, funcție de tipul cimentului: *1* — ciment alitic normal; *2* — ciment alitic moderat; *3* — ciment feroportland alitic; *4* — ciment feroportland normal; *5* — ciment feroportland belitic; *6* — ciment portland cu 30% zgură; *7* — cmient belitic normal.

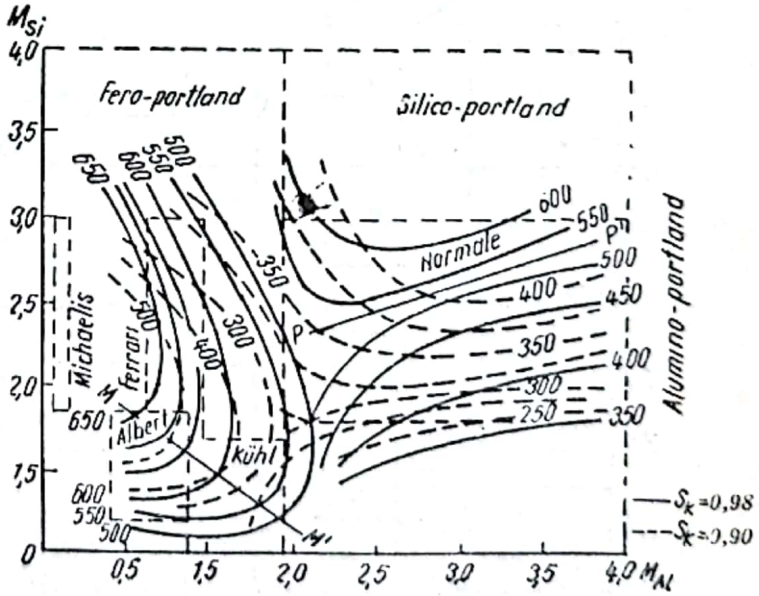


Fig. 7.4. Curbe de echirezistență la compresiune în diagramă modulară bidimensională (daN/cm²).

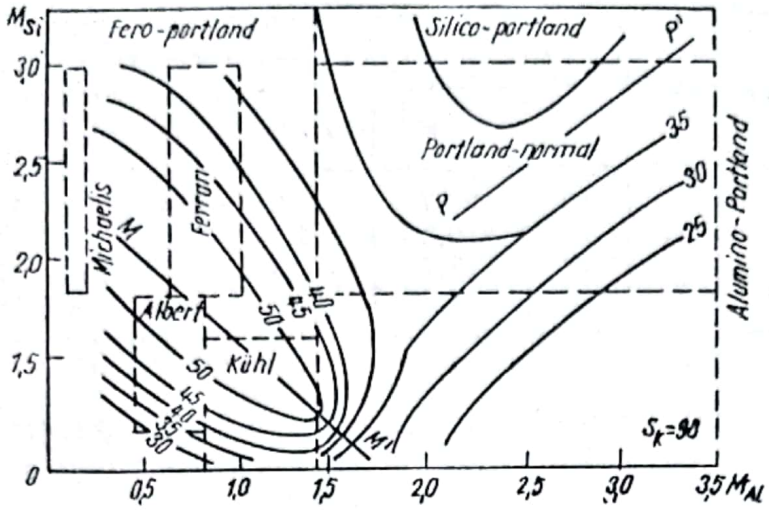


Fig. 7.5. Curbe de echirezistență la tracțiune în diagramă modulară bidimensională (daN/cm²).

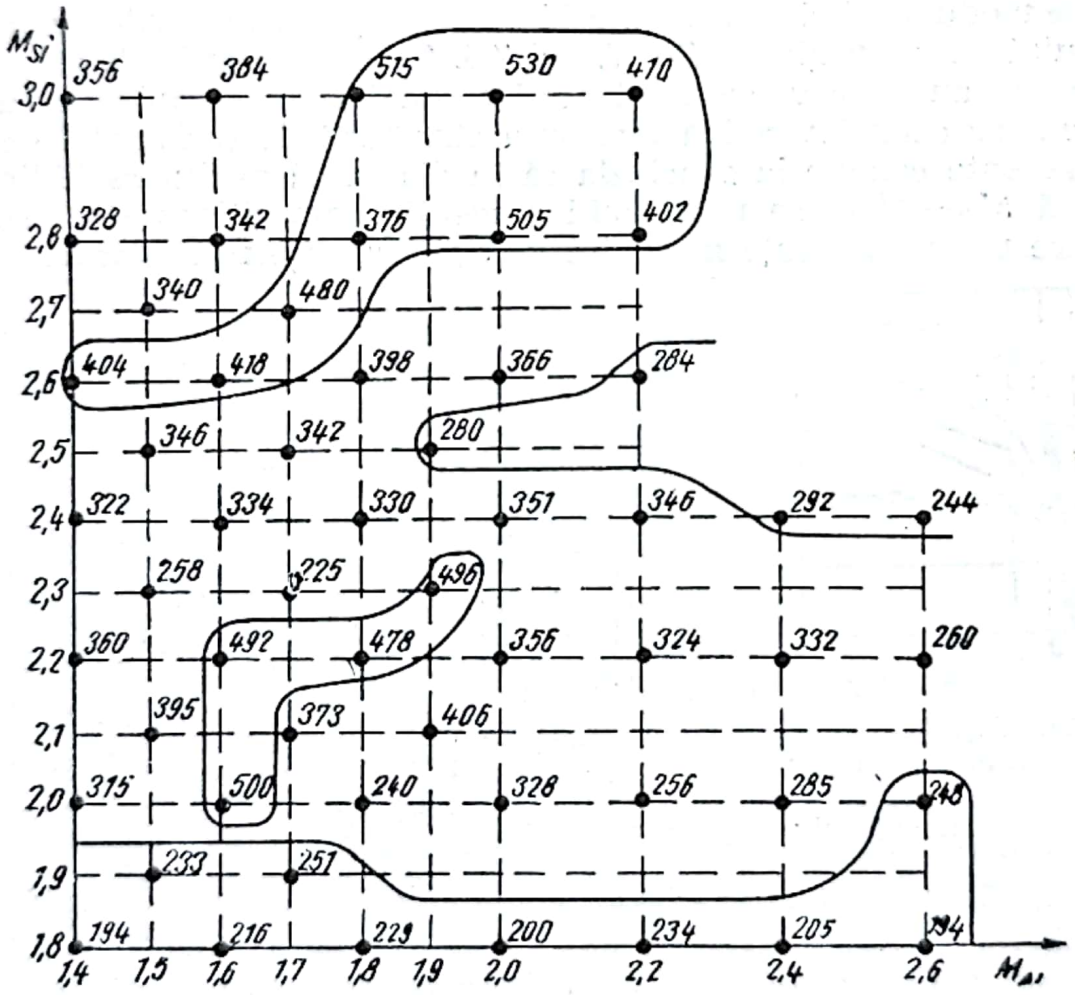


Fig. 7.6. Domenii de rezistență mecanică la compresiune (daN/cm²) în reprezentare modulară bidimensională (S_k = 0,9).

Scanned with OKEN Scanner

rezistențe mecanice mici și mai dificil, curbe de echirezistență. Păstrînd constante condițiile de preparare, păstrare și încercare a epruvetelor, rezultatele experimentale din fig. 7.6 ilustrează importanța caracteristicilor textural-structurale ale clincherelor pentru activitatea hidraulică a cimenturilor respective, evidențiată prin variații importante de rezistență mecanică la variații mici ale compoziției mineralogice.

Finețea de măcinare a cimenturilor influențează formarea structurii de rezistență a acestora prin modul în care intervine în procesul de hidratare-hidroliză. Cu cît suprafața specifică a unui ciment este mai mare, cu atît — păstrînd constante toate celelalte condiții — cantitatea de produși de hidratare rezultați în unitatea de timp va fi mai mare și implicit se ajunge mai repede la formarea și consolidarea structurii de rezistență. Influența creșterii suprafeței specifice asupra dezvoltării rezistențelor mecanice ale unui ciment se manifestă mai ales după perioade scurte de întărire — fig. 7.7. Creșterea suprafeței specifice nu determină o creștere liniară a rezistențelor mecanice, curba respectivă prezintă un maxim situat la valori cu atît mai reduse ale suprafeței specifice, cu cît reactivitatea cimentului este mai mare. La depășirea acestei suprafețe specifice optime, viteza prea mare de interacțiune cu apa imprimă o cinetică necorespunzătoare procesului de întărire ; are loc formarea unor structuri tensionate, caracterizate prin rezistențe mecanice mai mici.

Cimenturile portland obișnuite au suprafața specifică cuprinsă între 2 500 și 3 000 cm^2/g. Dat fiind faptul că la suprafețe specifice identice pot corespunde distribuții granulometrice diferite, pentru aprecierea justă a influenței finețiii de măcinare asupra dezvoltării rezistențelor mecanice este necesar să se cunoască și distribuția granulometrică a cimentului. Pentru dezvoltarea rezistențelor mecanice după 28 zile de întărire prezintă interes cunoașterea ponderii fracțiunii sub 30 μm, știindu-se că fracțiunea 30—60 μm participă la formarea structurii abia după perioade mai îndelungate, iar granulele de ciment mai mari de 60 μm au practic doar rol de agregat în piatra de ciment întărită 28 zile.

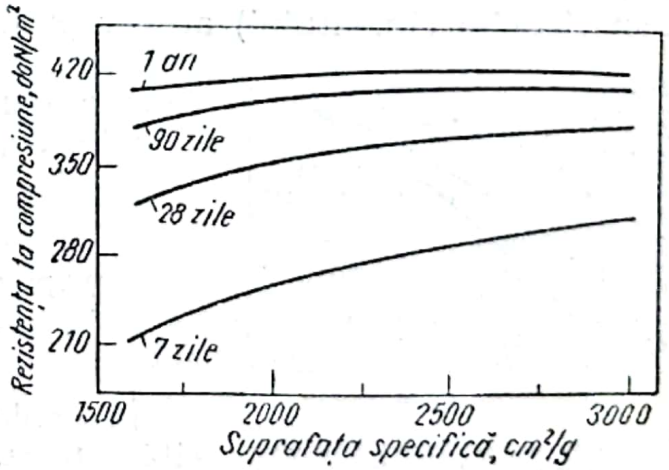


Fig. 7.7. Influența suprafeței specifice a cimentului asupra dezvoltății rezistențelor sale mecanice

Scanned with OKEN Scanner

Păstrarea cimentului o perioadă îndelungată înainte de utilizare determină o scădere a rezistențelor mecanice, ca urmare a hidratării parțiale a componenților mai activi (C_3A, C_3S) sub acțiunea umidității din atmosferă. Astfel, pentru un ciment portland obișnuit, păstrat 3 luni, se înregistrează scăderi de rezistență mecanică de 10—20% ; dacă păstrarea durează un an, scăderile de rezistență depășesc 40%. Cimenturile sînt cu atît mai sensibile la păstrare, cu cît finețea lor de măcinare este mai mare.

Mediul de păstrare a probelor (în aer sau în apă) influențează rezistențele mecanice. Cimentul portland fiind un liant hidraulic, dezvoltă rezistențe mecanice mai mari la păstrare în apă — tabelul 7.5.

Tabelul 7.5

Cimentul	Rezistența la compresiune (N/mm²), la păstrarea probelor							
	în apă				în aer			
	3 zile	7 zile	28 zile	90 zile	3 zile	7 zile	28 zile	90 zile
A	9,0	13,4	27,2	35,3	9,9	15,7	27,4	31,1
B	13,8	19,7	28,9	37,5	14,0	19,2	28,1	32,7
C	21,1	30,1	41,3	48,9	21,7	28,8	38,6	48,3

Creșterea temperaturii sistemului supus întăririi, pînă la anumite valori, influențează pozitiv dezvoltarea rezistențelor mecanice ale cimentului, mai pregnant la termene scurte de întărire — fig. 7.8. Pentru a obține efecte pozitive, influența exercitată de ridicarea temperaturii trebuie corelată cu compoziția mineralogică a cimenturilor (de ex. cimenturile cu conținut ridicat de C_3A dau rezistențe mecanice mai mici dacă întărirea are loc la temperaturi mai ridicate). Depășirea unei anumite temperaturi (a cărei valoare depinde de caracteristicile cimentului) are drept urmare o accelerare excesivă a proceselor de hidratare, ceea ce determină formarea unor structuri de întărire tensionate, cu rezistențe mecanice mai mici.

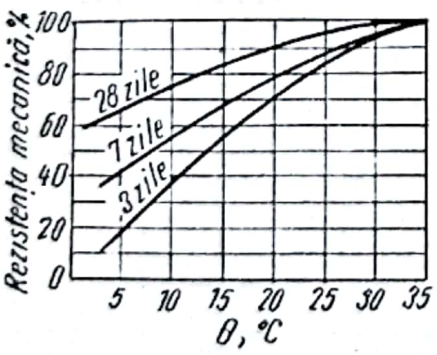


Fig. 7.8. Influența temperaturii asupra dezvoltării rezistenței mecanice la întărirea cimentului portland.

7.4.7. COMPORTAREA CIMENTULUI PORTLAND FAȚĂ DE ACȚIUNEA UNOR AGENȚI COROSIVI

În exploatare, piatra de ciment întărită este supusă acțiunii diferiților agenți corosivi care pot fi de natură fizico-chimică sau biochimică.

Scanned with OKEN Scanner

Coroziunea de natură fizico-chimică este cea mai importantă și deosebit de complexă. Studiul proceselor care conduc la distrugerea pietrei de ciment a constituit obiectul a numeroase lucrări de cercetare, iar preocupările pentru găsirea unor cimenturi cu stabilitate chimică ridicată în diverse medii, continuă și azi. În funcție de natura proceselor care provoacă degradarea pietrei de ciment se pot deosebi trei tipuri de coroziune.

Coroziunea de tipul I se datorește unor fenomene de dizolvare și levigare. Componentul cel mai solubil dintre produșii de hidratare ai cimentului portland este hidroxidul de calciu. Sub acțiunea apelor dulci, acesta se dizolvă și este îndepărtat prin levigare, din porii pietrei de ciment. Pentru restabilirea condițiilor de echilibru, hidrații din piatra de ciment hidrolizează, iar $Ca(OH)_2$ pus astfel în libertate este din nou spălat. Acest proces poate continua pînă la transformarea pietrei de ciment în geluri de silice și alumină hidratată. Procesul este mai intens dacă porozitatea pietrei de ciment este mare sau dacă este vorba de o apă curgătoare.

Pentru construcții supuse acțiunii unor ape curgătoare dulci este indicată folosirea unor cimenturi cu adaosuri silicioase (zgură de furnal sau puzzolane), care, în procesul de întărire, leagă în mare măsură hidroxidul de calciu rezultat din hidratarea-hidroliza cimentului portland, cum și realizarea unei structuri cît mai compacte a pietrei de ciment întărite, pentru a evita pe cît posibil pătrunderea apei în interiorul ei.

Coroziunea de tipul II este exercitată de apele conținînd acizi (HCl, HNO_3, H_2CO_3 etc.) sau diferite săruri ale acestora. Soluțiile de acizi reacționează cu $Ca(OH)_2$ din piatra de ciment întărită :

$$Ca(OH)_2 + 2\,HCl \rightarrow CaCl_2 + 2\,H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + 2\,HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2\,H_2O$$

Sărurile formate, de regulă mai solubile decît hidroxidul de calciu, sînt ușor levigabile : prin aceasta, concentrația hidroxidului de calciu din piatra de ciment scade repede, ceea ce determină hidroliza — uneori chiar pînă la descompunere completă, a produșilor de hidratare ai cimentului ; $Ca(OH)_2$ pus în libertate este consumat în continuare prin reacțiile de dublu schimb prezentate mai sus.

Bioxidul de carbon din apele carbonatate reacționează cu hidroxidul de calciu din piatra de ciment cu formare de carbonat sau carbonat acid de calciu :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

$$CaCO_3 + CO_2 \xrightarrow{H_2O} Ca(HCO_3)_2$$

Scanned with OKEN Scanner

Din schema prezentată se poate deduce că apele cu concentrație mică de CO_2 nu prezintă efect corosiv, deoarece $CaCO_3$ care se formează este practic insolubil, iar volumul unui mol de $CaCO_3$ este aproximativ egal cu volumul unui mol de $Ca(OH)_2$ din care provine, astfel încît depunerea $CaCO_3$ în porii pietrei de ciment (în locul hidroxidului de calciu) are chiar o acțiune protectoare. Dacă însă agentul corosiv reprezintă soluții concentrate de CO_2, reacția va continua cu formare de $Ca(HCO_3)_2$ foarte solubil, care este antrenat de apă ; în acest caz, mecanismul coroziunii este similar cu cel prezentat mai sus pentru soluțiile de acizi.

Coroziunea de tipul III este provocată de soluții de sulfați sau de diferite substanțe organice care, prin interacțiune cu $Ca(OH)_2$ formează săruri greu solubile, al căror volum este mai mare decît suma volumelor reactanților. Formarea acestor săruri greu solubile cu volum mare și depunerea lor în porii pietrei de ciment întărite provoacă tensiuni interne care pot fi atît de importante încît să determine fisurarea și chiar distrugerea structurii de întărire. Aceasta se întîmplă atunci cînd concentrația soluției agresive este mare.

La coroziunea produsă de apele sulfatice, într-o primă fază au loc următoarele reacții de dublu schimb :

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 \xrightarrow{H_2O} CaSO_4 \cdot 2\,H_2O + 2\,NaOH$$

$$Ca(OH)_2 + MgSO_4 \xrightarrow{H_2O} CaSO_4 \cdot 2\,H_2O + Mg(OH)_2$$

La soluții diluate, reacțiile se pot opri aici ; sulfatul de calciu cristalizat cu două molecule de apă, destul de greu solubil, se depune în porii și capilarele pietrei de ciment. La concentrații suficient de mari, însăși depunerea $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$ poate provoca distrugerea pietrei de ciment. Mult mai periculoasă este însă interacțiunea sa cu hidroaluminații, cu formare de etringit. Dacă această interacțiune are loc prin reacții în fază solidă, ea provoacă intens fenomene de expansiune și determină distrugerea rapidă a pietrei de ciment.

Coroziunea produsă de apa de mare este rezultatul unui complex de interacțiuni chimice și fizico-chimice, dată fiind varietatea sărurilor pe care le conține apa de mare : NaCl, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$, K_2SO_4, CO_2. Ca urmare a acestei compoziții, sînt posibile următoarele acțiuni corosive :

— coroziune de tip I, exercitată de apă ;
— coroziune de tip II, determinată de cloruri și de CO_2 ;
— coroziune de tip III, determinată de prezența sulfaților.

Scanned with OKEN Scanner

Ca urmare a interacțiunii acestor săruri cu $Ca(OH)_2$ din piatra de ciment se formează $Mg(OH)_2$ și $CaCO_3$ care se depun în porii și capilarele pietrei de ciment, cum și $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$, care rămîne însă în soluție, pe de o parte datorită concentrației mici în care rezultă, dar și datorită creșterii solubilității sale, determinată de prezența altor săruri, mai ales a NaCl.

O secțiune prin peretele unei construcții supuse acțiunii apei de mare este prezentată schematic în fig. 7.9.

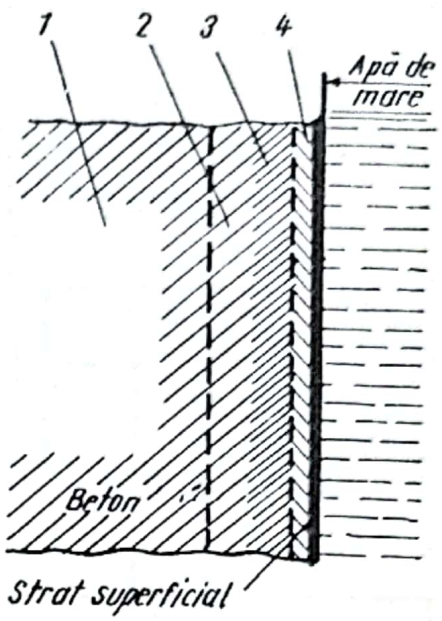


Fig. 7.9. Zone de coroziune în peretele unei construcții supuse acțiunii apei de mare :

1 — coroziune de tip I (levigație) ; *2* — coroziune sulfatică, depunere de $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$ — de tip III (expansiune) ; *3* — coroziune sulfatică, formare de etringit — de tip III (expansiune) ; *4* — coroziune magneziană — de tip II.

7.5. PROCEDEE DE FABRICARE A CIMENTULUI PORTLAND

Indiferent de procedeul de fabricare, obținerea cimentului portland cuprinde trei etape principale :

— prepararea amestecului brut ;
— arderea clincherului ;
— măcinarea cimentului.

În funcție de modul în care se realizează prepararea amestecului brut și de caracteristicile agregatului de ardere, se deosebesc procedeul umed și procedeul uscat, din care derivă procedeul semiumed și semiuscat de fabricare a cimentului portland. În fig. 7.10 s-au prezentat schematic principalele operațiuni întîlnite la fabricarea cimentului portland după diferite procedee.

7.5.1. PROCEDEUL USCAT DE FABRICARE A CIMENTULUI PORTLAND

La acest procedeu, prepararea amestecului brut se face sub formă de pulbere.

În fig. 7.11 se prezintă schematic fluxul tehnologic pentru procedeul uscat de fabricare a cimentului portland.

Calcarul extras din carieră este concasat în concasoare cu fălci, cu ciocane sau giratorii. De obicei, este necesară uscarea argilei, folosindu-se uscătoare rotative. Calcarul concasat și argila uscată se

Scanned with OKEN Scanner

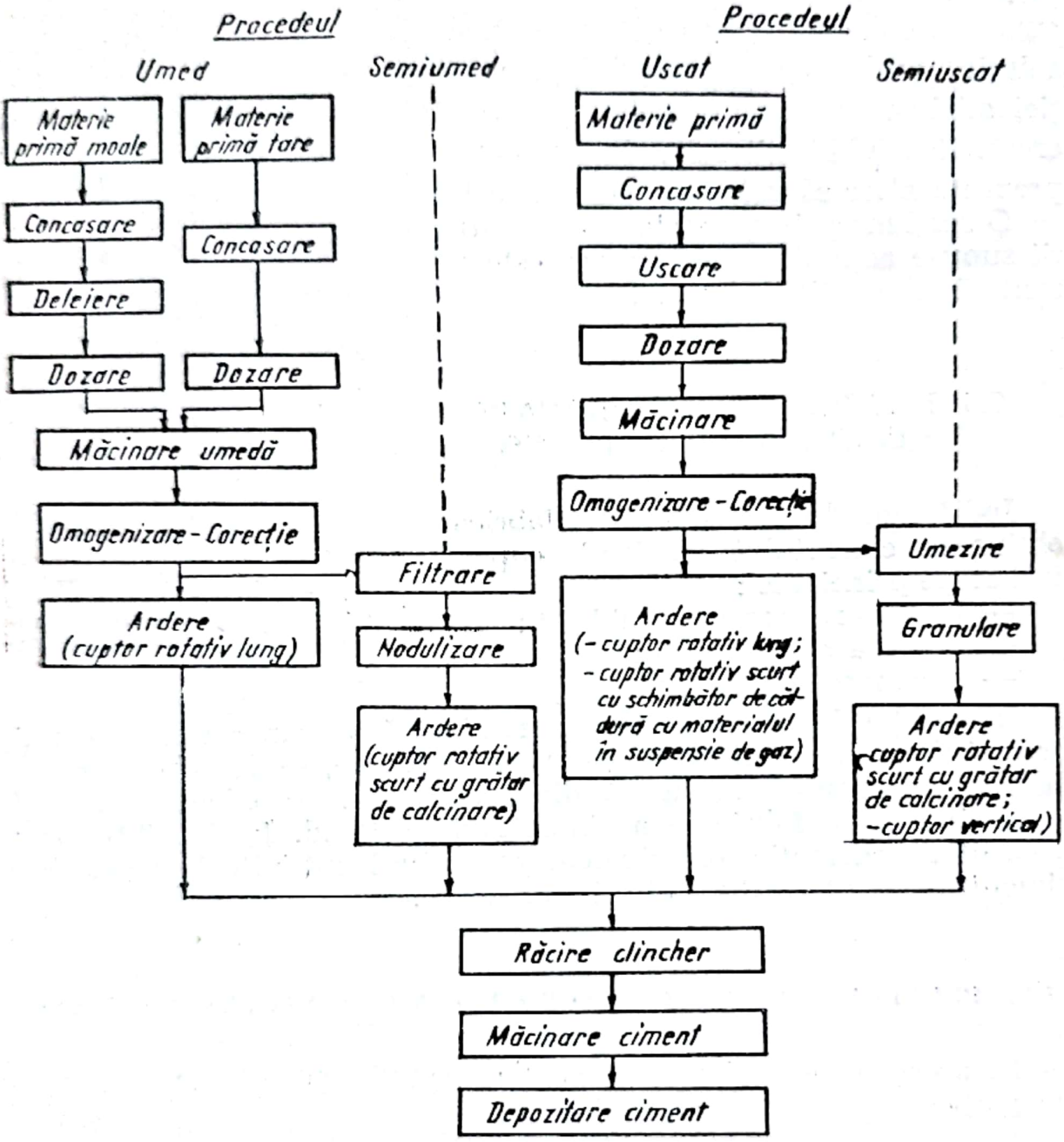


Fig. 7.10. Schema principalelor operații la fabricarea cimentului portland după diferite procedee.

Scanned with OKEN Scanner

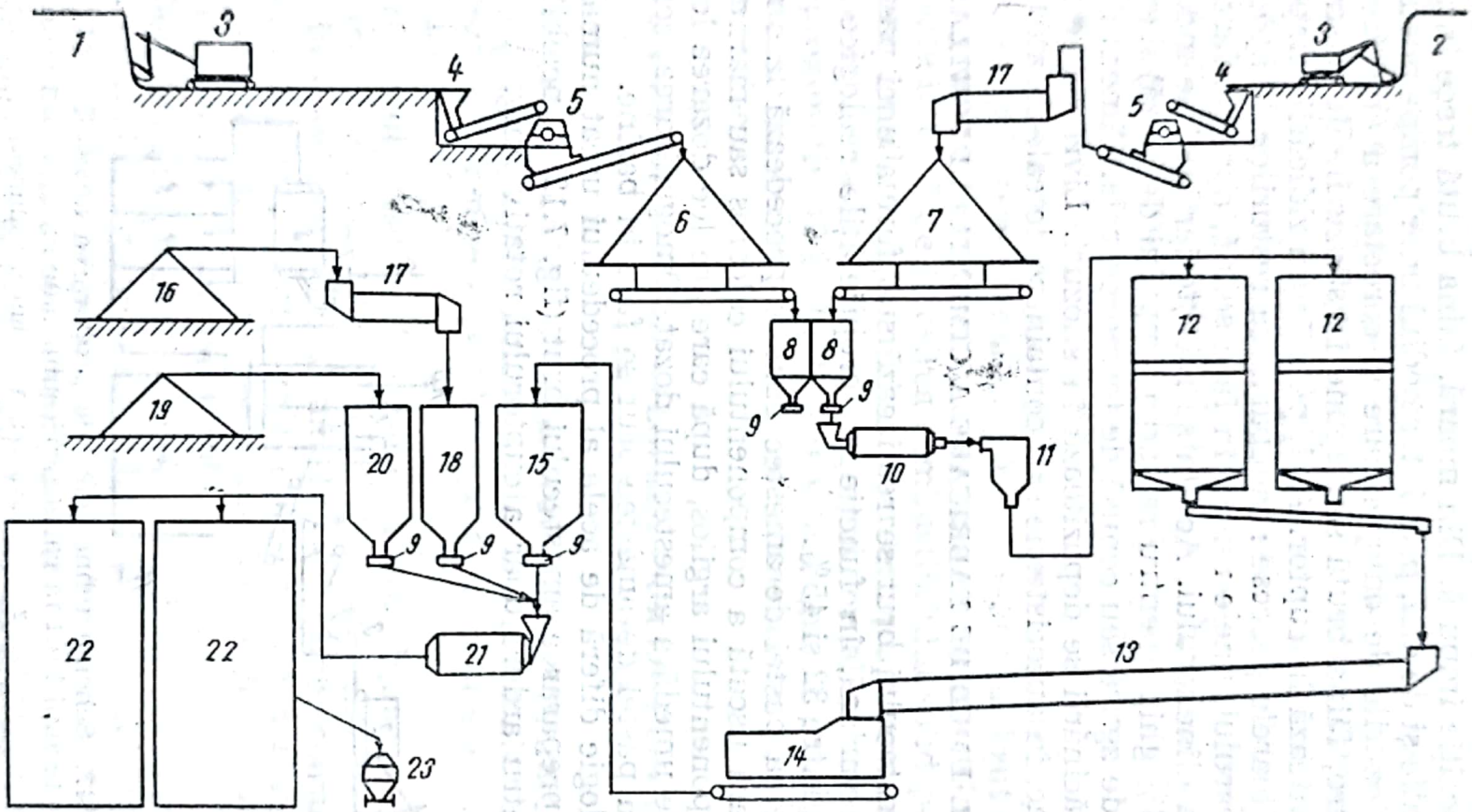


Fig. 7.11. Fluxul tehnologic de fabricare a cimentului portland după procedeul uscat:

1 — carieră calcar; *2* — carieră argilă; *3* — excavator; *4* — buncăr alimentare concasor; *5* — concasor; *6* — depozit calcar; *7* — depozit argilă; *8* — buncăr alimentare moară brută; *9* — dozatoare; *10* — moară amestec brut; *11* — separator pneumatic; *12* — siloz de omogenizare și corectare; *13* — cuptor rotativ lung; *14* — răcitor clincher; *15* — buncăr clincher; *16* — depozit zgură; *17* — uscător rotativ; *18* — buncăr zgură uscată; *19* — depozit ghips; *20* — buncăr ghips; *21* — moară ciment; *22* — silozuri ciment; *23* — livrare ciment.

Scanned with OKEN Scanner

trec în buncărele de alimentare a morilor de făină brută. Alimentarea în moară se face după o prealabilă dozare pentru a obține un clincher de compoziție impusă. Din moară, făina brută trece într-un separator pneumatic și de aici, prin intermediul unor pompe pneumatice ajunge în silozurile de omogenizare și corectare a amestecului brut. În continuare, făina brută se depune în silozurile de păstrare, de unde se alimentează în cuptor. Aici, pe măsura ridicării temperaturii au loc următoarele procese : îndepărtarea resturilor de apă, decarbonatarea calcarului, unele reacții în fază solidă, apariția fazei lichide și formarea clincherului. Acesta se răcește iar apoi se macină, împreună cu 4—6% ghips (pentru reglarea timpului de priză) și eventual cu adaosuri de zgură sau cenușă de termocentrală. Cimentul obținut în urma măcinării se depozitează în silozuri. Livrarea se face în saci sau în vrac, în autocisterne sau containere de cale ferată.

7.5.2. PROCEDEUL UMED DE FABRICARE A CIMENTULUI PORTLAND

Obținerea amestecului brut se realizează sub forma unei paste a cărei umiditate variază, în funcție de proprietățile reologice ale amestecului brut, între 32 și 45%.

Pentru obținerea pastei de amestec brut se procedează la o mărunțire preliminară uscată a componentului calcaros sau marnos și o deleiere a componentului argilos, după care are loc dozarea lor și măcinarea pe cale umedă a amestecului dozat. Omogenizarea, corectarea și păstrarea pastei de amestec brut se face în bazine.

Fluxul tehnologic diferă de acela al procedeului uscat numai în ceea ce privește prepararea amestecului brut (fig. 7.12) și posibilitatea utilizării pentru ardere doar a cuptorului rotativ lung.

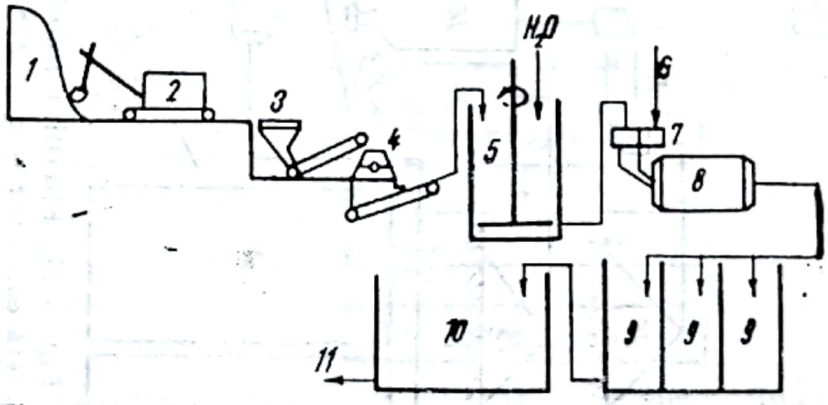


Fig. 7.12. Schema tehnologică de prepararea amestecului brut în cazul procesului umed :

1 — carieră argilă; *2* — excavator; *3* — buncăr alimentare concasor; *4* — concasor cu valțuri; *5* — deleior; *6* — calcar concasat; *7* — dozatoare; *8* — moară pastă; *9* — bazine de omogenizare și corectare; *10* — bazin de păstrare; *11* — transportarea pastei spre cuptor.

Scanned with OKEN Scanner

7.5.3. PROCEDEUL SEMIUMED ŞI SEMIUSCAT DE FABRICARE A CIMENTULUI PORTLAND

Procedeul semiumed de fabricare a cimentului portland constă în prepararea pe cale umedă a amestecului de materii prime şi îndepărtarea parţială a apei din pastă înaintea alimentării ei în cuptor. Îndepărtarea apei se poate face prin filtrare sau centrifugare (umiditate reziduală 15—16%) sau prin evaporare în concentratoare pentru încălzirea cărora se foloseşte căldura gazelor evacuate din cuptor (umiditate reziduală 6—12%). Prin aceasta, consumul de combustibil se reduce faţă de cel necesar procedeului umed, dar creşte cel de energie electrică datorită introducerii în fluxul tehnologic a unor agregate suplimentare.

Procedeul semiuscat de fabricare a cimentului portland este caracterizat prin prepararea uscată a amestecului brut şi transformarea lui în granule, înainte de alimentarea în cuptor. Granularea prealabilă este impusă de folosirea combustibilului solid pentru ardere sau de caracteristicile agregatului de ardere (cuptoare prevăzute cu preîncălzitor grătar). Umiditatea granulelor alimentate în cuptor este de aproximativ 12%. În fluxul tehnologic al procedeului semiuscat se intercalează deci, înainte de alimentarea în cuptor, un agregat de granulare.

7.5.4. CRITERII PENTRU ALEGEREA PROCEDEULUI DE FABRICARE A CIMENTULUI PORTLAND

Alegerea procedeului de fabricare se face în funcţie de starea naturală şi proprietăţile fizico-chimice ale materiilor prime şi de considerente economice privind preţul de cost al energiei electrice şi al combustibilului.

Procedeul uscat de fabricare asigură obţinerea cimentului portland cu un consum de combustibil cu aproximativ 30% mai redus decît în cazul procedeului umed ; în schimb, consumul de energie electrică necesară pentru măruntirea uscată a materiilor prime şi omogenizarea amestecului brut sub formă de pulbere este cu circa 20% mai mare la procedeul uscat.

Calitatea omogenizării amestecului brut este ceva mai bună în cazul preparării umede a acestuia, deşi agregatele moderne de omogenizare a pulberilor permit obţinerea unor făini brute de compoziţie la fel de omogenă ca şi în cazul pastelor.

Din punct de vedere tehnologic, cuptorul rotativ lung pentru arderea amestecului brut sub formă de pastă are o funcţionare mai uniformă şi este mai puţin sensibil la diferite perturbări decît cup-

Scanned with OKEN Scanner

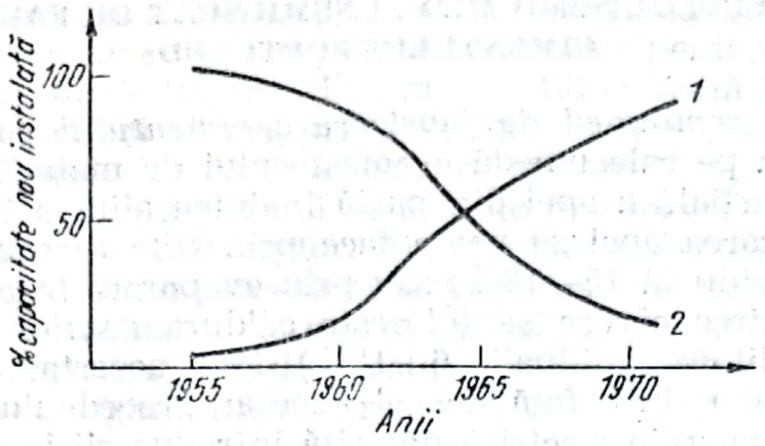


Fig. 7.13. Tendințe de dezvoltare a cuptoarelor de ciment :

1 — cuptoare cu schimbătoare de căldură cu materialul în suspensie de gaz; 2 — alte tipuri de cuptoare.

torul rotativ scurt cu cicloane schimbătoare de căldură, utilizat la arderea făinii brute de ciment.

Alegerea procedeului umed se impune atunci cînd umiditatea naturală a argilei depășește în mod constant 15%, ceea ce se întîmplă destul de rar ; dată fiind compactitatea calcarului, umiditatea sa nu depășește cîteva procente.

În condițiile crizei de energie care se accentuează progresiv, pe plan mondial se constată o tendință accentuată de folosire cu precădere a procedeului uscat pentru fabricarea cimentului. Aceasta apare evidentă atît în dezvoltarea și diversificarea pe care au cunoscut-o agregatele de măcinare și de ardere a amestecului brut sub formă de pulbere, cît și în ponderea pe care procedeul uscat, (în special cu cuptoare cu cicloane schimbătoare de căldură) o reprezintă în totalul capacităților nou instalate (fig. 7.13).

7.6. PREPARAREA AMESTECULUI BRUT

7.6.1. CALCULUL COMPOZIȚIEI AMESTECULUI BRUT PENTRU FABRICAREA CLINCHERULUI DE CIMENT PORTLAND

Dozarea constituenților amestecului brut se face în urma unui calcul efectuat pe baza compoziției oxidice a materiilor prime și a caracteristicilor modulare impuse clincherului ce urmează a fi fabricat.

În cazul folosirii unor combustibili solizi, în calculul amestecului brut trebuie să se țină cont și de compoziția cenușii în condițiile în care aceasta va fi înglobată în compoziția clincherului.

Scanned with OKEN Scanner

7.6.1.1. **Compoziția amestecului brut format din doi componenți.** Considerînd obținerea clincherului portland din calcar și argilă sau marnă, calculul compoziției amestecului brut se poate face fie în funcție de conținutul de $CaCO_3$, fie în funcție de valoarea gradului de saturație impuse amestecului brut.

Pentru *calculul compoziției amestecului brut în funcție de conținutul său în* $CaCO_3$ (titrul amestecului brut) se procedează în modul următor :

Presupunînd că avem la dispoziție un calcar cu a % $CaCO_3$ și o argilă cu b % $CaCO_3$, pentru obținerea unui amestec brut cu c % $CaCO_3$, se scrie :

calcar a — ($c-b$) părți $CaCO_3$ în minus în argilă

argilă b — ($a-c$) părți $CaCO_3$ în exces în calcar

Proporția în părți gravimetrice în care trebuie amestecate cele două materii prime se obține din raportul :

$$\frac{\text{calcar}}{\text{argilă}} = \frac{c-b}{a-c}.$$

Pentru *calculul amestecului brut din doi componenți în funcție de valoarea gradului de saturare* în calce, se notează :

C_1, S_1, A_1, F_1 — conținutul procentual de CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 din calcar ;

C_2, S_2, A_2, F_2 — conținutul procentual de CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 din argilă (sau marnă) ;

C_0, S_0, A_0, F_0 — conținutul procentual de CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 din amestecul brut ce urmează a fi realizat.

Considerînd că pentru a obține un amestec brut caracterizat de un anumit grad de saturare se amestecă o parte de calcar cu x părți de argilă (marnă) ; pe baza notațiilor de mai sus se poate scrie :

$$C_0 = \frac{C_1+xC_2}{1+x}\ ;\quad S_0 = \frac{S_1+xS_2}{1+x}\ ;\quad A_0 = \frac{A_1+xA_2}{1+x}\ ;\quad F_0 = \frac{F_1+xF_2}{1+x}$$

și

$$S_K = \frac{C_0}{2{,}8\,S_0 + 1{,}1\,A_0 + 0{,}7\,F_0}$$

Înlocuind valorile pentru C_0, S_0, A_0, F_0 în ecuația gradului de saturare, rezultă :

$$S_K = \frac{C_1+xC_2}{2{,}8\,(S_1+xS_2) + 1{,}1\,(A_1+xA_2) + 0{,}7\,(F_1+xF_2)}$$

$$S_K\,[2{,}8(S_1+xS_2)+1{,}1(A_1+xA_2)+0{,}7(F_1+xF_2)] = C_1+xC_2$$

$$x\,[(2{,}8\,S_2+1{,}1\,A_2+0{,}7\,F_2)\,S_K - C_2] = C_1 - S_K\,(2{,}8\,S_1+1{,}1\,A_1+0{,}7\,F_1)$$

Scanned with OKEN Scanner

de unde :

$$x = \frac{C_1 - S_K(2{,}8S_1 + 1{,}1A_1 + 0{,}7F_1)}{S_K(2{,}8S_2 + 1{,}1A_2 + 0{,}7F_2) - C_2}$$

Compoziția amestecului brut exprimată în procente va fi : calcar $= 100/(1+x)$ % ; argilă $= 100\,x/(1+x)$ %.

7.6.1.2. **Calculul compoziției amestecului brut din 3 componenți.** În cazul în care utilizarea a două materii prime — calcar și argilă sau marnă, nu asigură obținerea unui clincher cu caracteristici satisfăcătoare, se folosește un al treilea component, ca adaos de corecție. În funcție de componentul oxidic deficitar din amestec — SiO_2, Fe_2O_3 sau Al_2O_3 — drept adaosuri de corecție se folosesc diatomit sau cenușă de termocentrală, cenușă de pirită, respectiv bauxită.

În acest caz, în calcul se ia în considerație, pe lîngă gradul de saturare și modulul de silice (dacă trebuie corectat conținutul în SiO_2) sau cel de alumină (dacă trebuie corectat conținutul în Fe_2O_3 sau Al_2O_3).

Se consideră egală cu unitatea participarea în amestec a unuia din componenți și cu x și y participările celorlalți doi. Calculul se conduce asemănător cazului precedent. Se notează :

C_1, S_1, A_1, F_1 — conținutul procentual de CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 al calcarului ;

C_2, S_2, A_2, F_2 — conținutul procentual de CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 al argilei sau marnei ;

C_3, S_3, A_3, F_3 — conținutul procentual de CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 al adaosului de corecție ;

C_0, S_0, A_0, F_0 — conținutul procentual de CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 al amestecului brut.

Se scriu relațiile gradului de saturare și ale modulului de silice, de exemplu :

$$S_K = \frac{C_0}{2{,}8\,S_0 + 1{,}1\,A_0 + 0{,}7\,F_0} \; ; \quad M_{Si} = \frac{C_0}{A_0 + F_0}.$$

Pentru compoziția făinii brute se poate scrie :

$$C_0 = \frac{C_1 + xC_2 + yC_3}{1+x+y} \; ; \; S_0 = \frac{S_1 + xS_2 + yS_3}{1+x+y} \; ; \; A_0 = \frac{A_1 + xA_2 + yA_3}{1+x+y} \; ;$$

$$F_0 = \frac{F_1 + xF_2 + yF_3}{1+x+y}.$$

Prin înlocuirea în relațiile pentru S_K și M_{Si} rezultă :

$$S_K = \frac{C_1 + xC_2 + yC_3}{2{,}8\,(S_1 + xS_2 + yS_3) + 1{,}1\,(A_1 + xA_2 + yA_3) + 0{,}7\,(F_1 + xF_2 + yF_3)}$$

$$M_{Si} = \frac{S_1 + xS_2 + yS_3}{(A_1 + xA_2 + yA_3) + (F_1 + xF_2 + yF_3)}$$

Efectuînd înmulțirile și ordonînd termenii, se poate scrie :

$$x\,[S_K\,(2{,}8\,S_2 + 1{,}1\,A_2 + 0{,}7\,F_2) - C_2] + y[S_K\,(2{,}8\,S_3 + 1{,}1\,A_3 + 0{,}7\,F_3) - C_3 = C_1 - S_K\,(2{,}8\,S_1 + 1{,}1\,A_1 + 0{,}7\,F_1) \quad (1)$$

$$x\,[M_{Si}\,(A_2 + F_2) - S_2] + y[M_{Si}\,(A_3 + F_3) - S_3] = S_1 - M_{Si}\,(A_1 + F_1) \quad (2)$$

Notînd, pentru simplificare :

$a_1 = S_K\,(2{,}8\,S_2 + 1{,}1\,A_2 + 0{,}7\,F_2) - C_2$; $\quad a_2 = M_{Si}\,(A_2 + F_2) - S_2$;

$b_1 = S_K\,(2{,}8\,S_3 + 1{,}1\,A_3 + 0{,}7\,F_3) - C_3$; $\quad b_2 = M_{Si}\,(A_3 + F_3) - S_3$;

$c_1 = C_1 - S_K\,(2{,}8\,S_1 + 1{,}1\,A_1 + 0{,}7\,F_1)$; $\quad c_2 = S_1 - M_{Si}\,(A_1 + F_1)$;

relațiile (1) și (2) se pot scrie :

$$a_1 x + b_1 y = c_1 \quad (1')$$

$$a_2 x + b_2 y = c_2 \quad (2')$$

Prin rezolvarea acestui sistem se ajunge la :

$$x = \frac{c_1 b_2 - c_2 b_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1}\,; \quad y = \frac{a_1 c_2 - a_2 c_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1}\,.$$

Amestecul brut va conține deci 1 parte calcar, x părți argilă sau marnă și y părți adaos de corecție. Exprimată în procente, compoziția amestecului brut va fi :

$$\text{calcar} = \frac{100}{1 + x + y}\,\%\,; \quad \text{argilă} = \frac{100x}{1 + x + y}\,\%\,; \quad \text{adaos de corecție} = \frac{100y}{1 + x + y}\,\%\,.$$

7.6.1.3. Calculul amestecului brut format din 4 componenți. În situația în care nici cu trei componenți nu se ajunge la un amestec brut de compoziție satisfăcătoare, se introduce încă un adaos de corecție, iar calculul se conduce prin luarea în considerație a tuturor modulilor.

În acest caz, considerînd egală cu unitatea participarea calcarului, participarea în amestec a componentului argilos și a adaosurilor de corecție se determină folosind expresiile :

$$x = \frac{d_1\,(b_2c_3 - b_3c_2) + d_2\,(b_3c_1 - b_1c_3) + d_3\,(b_1c_2 - b_2c_1)}{a_1\,(b_2c_3 - b_3c_2) + a_2\,(b_3c_1 - b_1c_3) + a_3\,(b_1c_2 - b_2c_1)}\,;$$

Scanned with OKEN Scanner

$$y = \frac{a_1(d_2c_3 - d_3c_2) + a_2(d_3c_1 - d_1c_3) + a_3(d_1c_2 - d_2c_1)}{a_1(b_2c_3 - b_3c_2) + a_2(b_3c_1 - b_1c_3) + a_3(b_1c_2 - b_2c_1)};$$

$$z = \frac{a_1(b_2d_3 - b_3d_2) + a_2(b_3d_1 - b_1d_3) + a_3(b_1d_2 - b_2d_1)}{a_1(b_2c_3 - b_3c_2) + a_2(b_3c_1 - b_1c_3) + a_3(b_1c_2 - b_2c_1)};$$

în care :

$a_1 = S_K(2{,}8\ S_2 + 1{,}1\ A_2 + 0{,}7\ F_2) - C_2$;
$a_2 = M_{Si}\ (A_2 + F_2) - S_2$;
$a_3 = F_2 M_{Al} - A_2$;
$b_1 = S_K(2{,}8\ S_3 + 1{,}1\ A_3 + 0{,}7\ F_3) - C_3$;
$b_2 = M_{Si}\ (A_3 + F_3) - S_3$;
$b_3 = F_3 M_{Al} - A_3$;
$c_1 = S_K(2{,}8\ S_4 + 1{,}1\ A_4 + 0{,}7\ F_4) - C_4$;
$c_2 = M_{Si}\ (A_4 + F_4) - S_4$;
$c_3 = F_4 M_{Al} - A_4$;
$d_1 = C_1 - S_K(2{,}8\ S_1 + 1{,}1\ A_1 + 0{,}7\ F_1)$;
$d_2 = S_1 - M_{Si}\ (A_1 + F_1)$;
$d_3 = A_1 - F_1 M_{Al}$.

7.6.1.4. **Calculul compoziției amestecului brut în situația arderii clincherului cu combustibil solid a cărui cenușă se înglobează în compoziția clincherului.** Pentru rezolvarea acestui caz se calculează mai întîi compoziția în calcar, argilă și adaosuri de corecție a amestecului brut fără luarea în considerație a cenușii, iar aceasta se modifică apoi corespunzător cu participarea cenușii în compoziția clincherului. În final se recalculează modulii clincherului pentru a verifica dacă înglobarea cenușii nu determină modificări neadmisibile în compoziția clincherului. De regulă, cenușile au o compoziție aluminosilicatică cu un conținut de CaO sensibil mai mic decît cel corespunzător clincherului de ciment portland. Înglobarea cenușii va determina deci scăderea gradului de saturație și creșterea ușoară a modulului de silice și de alumină, fapt de care trebuie să se țină seama la stabilirea inițială a caracteristicilor modulare în funcție de care se conduce calculul.

7.6.2. STOCAREA ȘI PREOMOGENIZAREA MATERIILOR PRIME

De multe ori, compoziția chimică a unui zăcămînt prezintă fluctuații importante. Pentru a putea obține în aceste condiții un clincher de calitate uniformă un timp mai îndelungat, este necesară crearea unor stocuri de materii prime de compoziție chimică uniformă. Într-o anumită măsură se poate realiza o preomogenizare a materiilor prime printr-o exploatare selectivă a acestora în carieră

Scanned with OKEN Scanner

și prin crearea unor fronturi de lucru largi. În condițiile în care variațiile de compoziție ale materiilor prime sînt mari, preomogenizarea realizabilă printr-o exploatare judicioasă a carierei nu este suficientă și trebuie completată cu o operație de preomogenizare în halde de preomogenizare, acoperite sau descoperite, astfel dimensionate încît să asigure necesarul de materii prime pentru o perioadă de 5—7 zile. Formarea și exploatarea acestora a fost prezentată la cap. 3.

Se pot evidenția următoarele avantaje determinate de folosirea acestui sistem de preomogenizare :

— asigură independență între lucrările de exploatare în carieră și fluxul tehnologic de fabricare a cimentului, în sensul că stagnări în anumite limite nu se reflectă asupra întregului proces ;

— permite obținerea unui material cu un grad ridicat de uniformitate în timp, datorită cantităților mari care se amestecă și datorită intervalului mai mare de timp de care se dispune pentru realizarea omogenizării (5—7 zile față de 1—2 ore în cazul omogenizării amestecului măcinat) ;

— asigură ritmicitatea producției de ciment ;

— creează premize pentru conducerea automatizată a procesului tehnologic de fabricare a cimentului ;

Formarea unor asemenea halde presupune însă un consum de energie și de forță de muncă ceva mai ridicat, motiv pentru care oportunitatea includerii lor în fluxul tehnologic trebuie analizată de la caz la caz, luîndu-se în considerație atît factori calitativi, cît și factori economici.

Prin formarea și exploatarea corectă a unor asemenea halde, fluctuațiile în compoziția amestecului brut rezultat după măcinare pot fi reduse la $\pm 1\%$.

7.6.3. CONCASAREA MATERIILOR PRIME

În funcție de condițiile de exploatare din carieră și de natura materiilor prime, concasarea se poate face în una sau mai multe trepte.

Concasarea rocilor argiloase, care din carieră rezultă cu dimensiuni de aproximativ 50—300 mm, se face într-o singură treaptă, folosindu-se concasoare cu impact, cu valțuri etc.

Concasarea calcarului se face, de obicei, în două trepte ; prima concasare se face direct în carieră sau după transportarea calcarului la fabrică. Pentru concasarea calcarului se utilizează concasoare cu fălci, cu con, cu ciocane articulate și cu impact.

Scanned with OKEN Scanner

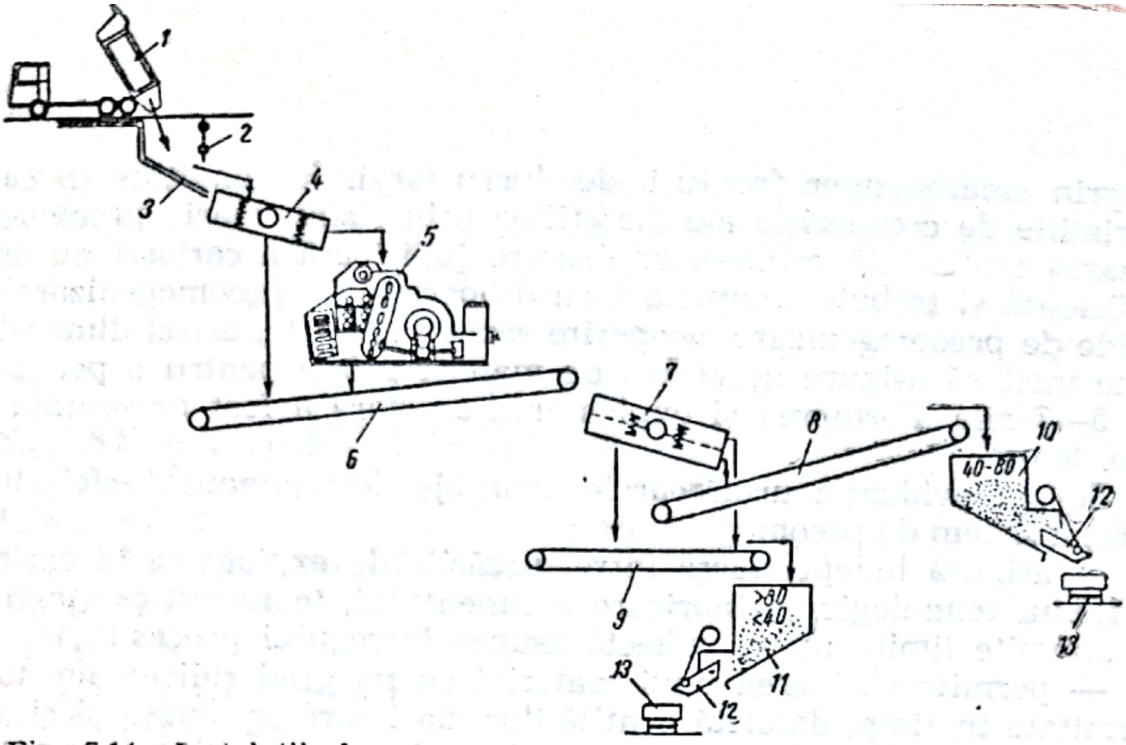


Fig. 7.14. Instalații de preconcasare-clasare a calcarului, cu concasor cu fălci :

1 — mijloc de transport; *2* — perdea de lanțuri; *3* — pîlnie; *4* — ciur vibrator; *5* — concasor cu fălci; *6, 8, 9* — transportoare cu bandă; *7* — ciur vibrator; *10, 11* — depozite pentru material concasat; *12* — pîlnie de descărcare; *13* — transportor pentru material concasat și clasat.

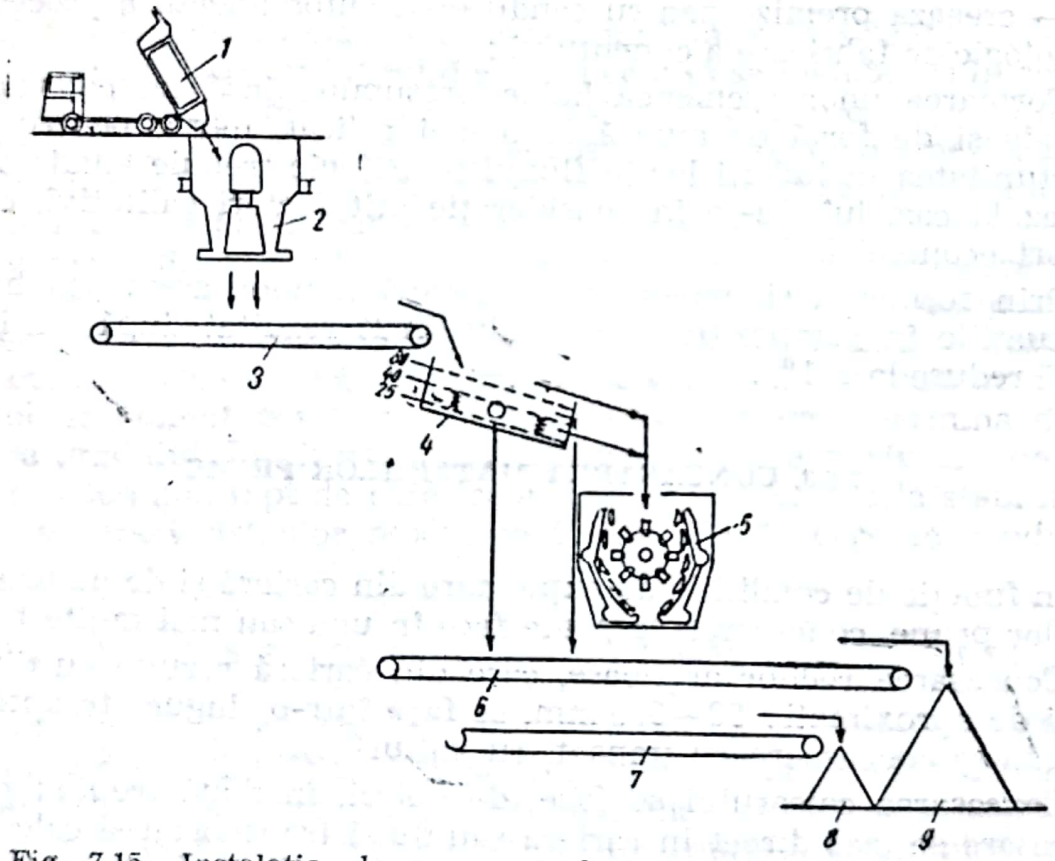


Fig. 7.15. Instalație de concasare-clasare a calcarului în două trepte, cu concasor girator și concasor cu ciocane (impact) :

1 — mijloc de transport; *2* — concasor cu con (girator); *3* — transportor; *4* — ciur vibrator; *5* — concasor cu impact; *6, 7* — transportoare cu bandă; *8, 9* — depozite de material concasat.

Scanned with OKEN Scanner

Instalațiile de concasare au, în afara utilajului tehnologic de bază, o serie de utilaje auxiliare care asigură :

— alimentarea continuă a concasorului ;

— clasarea materialului ;

— evitarea pătrunderii în concasoare a corpurilor metalice ajunse accidental în materialul adus la gura lor de alimentare ; în acest scop se folosesc dispozitive magnetice de separare sau de semnalizare și blocare a mecanismelor de alimentare a concasoarelor ;

— transportul materialului între utilajele tehnologice ;

— desprăfuirea instalației.

În fig. 7.14 și 7.15 se prezintă schemele tehnologice mai des folosite pentru concasarea și clasarea calcarului în industria cimentului.

7.6.4. USCAREA MATERIILOR PRIME

Măcinarea unor materiale umede influențează negativ desfășurarea procesului, deoarece favorizează fenomenele de aglomerare și de aderență a materialului pe corpurile de măcinare și plăcile de blindaj. Pentru a asigura o funcționare corespunzătoare a morilor de făină brută fără uscare concomitentă, umiditatea materiilor prime nu trebuie să fie mai mare de 1%. Aceasta impune uscarea componentului argilos. De asemenea, de multe ori este necesară uscarea adaosurilor care se macină împreună cu clincherul, în morile de ciment. Se dau următoarele limite maxime de umiditate, admisibile pentru diferite materiale, în vederea măcinării lor uscate :

— calcar, argilă, marnă 1% ;
— adaosuri hidraulice naturale 2% ;
— zgură granulată de furnal 2% ;
— gips 10%.

Drept agregate pentru uscare se folosesc, de obicei, uscătoare cu tambur rotativ, în care gazele fierbinți circulă în echicurent sau în contracurent cu materialul supus uscării. Sistemul în contracurent este mai avantajos din punct de vedere economic, deoarece permite o mai bună valorificare a conținutului caloric al gazelor fierbinți.

Din diagrama prezentată în fig. 7.16 rezultă că pînă la o umiditate remanentă de aproximativ 4—6%, consumul de căldură pentru îndepărtarea unui kg de apă este redus și depinde în mică măsură de umiditatea inițială a materialului, în timp ce pentru îndepărtarea ultimelor procente de umiditate, consumul specific de căldură crește foarte mult. Acest fapt pledează pentru folosirea sistemului de uscare la care materialul și gazele fierbinți circulă în contracurent.

În cazul uscării argilei, se folosește de multe ori circulația în echicurent a materialului și a gazelor fierbinți, pentru a evita for-

Scanned with OKEN Scanner

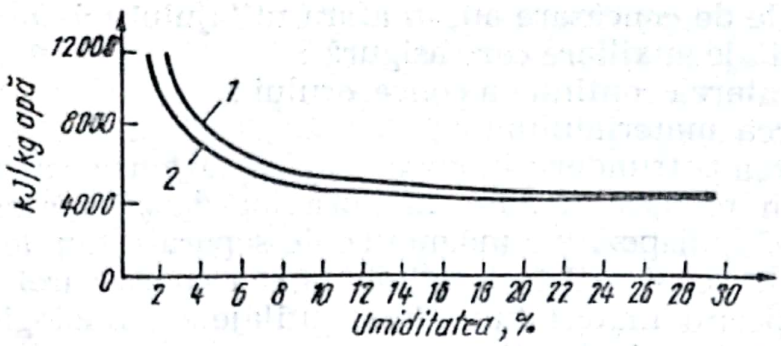


Fig. 7.16. Variația consumului de căldură în funcție de umiditatea inițială a materialului :
1 — cărbune; *2* — calcar.

marea de lipituri și aglomerări de material la capătul de alimentare. În cazul uscării cărbunelui se folosește numai circulația în echicurent, pentru a reduce la minim pericolul aprinderii cărbunelui uscat.

Se dă următoarea relație simplă pentru a calcula cantitatea de apă (în kg) care trebuie îndepărtată pentru uscarea unui kg de material umed :

$$U_a = R - T_r = R - R\,\frac{100-r}{100-r_r} = R\,\frac{u-u_r}{100-u_r}$$

în care :

U_a este cantitatea de apă evaporată, în kg ;
R — cantitatea de material neuscat (1 kg) ;
T_r — cantitatea de material uscat rezultat dintr-un kg de material umed, în kg ;
u — umiditatea inițială a materialului, în % ;
u_r — umiditatea remanentă a materialului, în %.

Cu ajutorul acestei relații și a diagramei din fig. 7.16 se poate evalua cantitatea de căldură necesară pentru uscarea unor materiale.

În tehnologiile moderne, uscarea materiilor prime se realizează aproape exclusiv în timpul procesului de măcinare. Din punctul de vedere al economiei de căldură, metoda este foarte avantajoasă dată fiind suprafața mare de contact între material și gazele fierbinți. Cantitatea de gaze fierbinți, necesară pentru uscarea materialului depinde de umiditatea inițială a acestuia și de temperatura gazelor.

7.6.5. MĂCINAREA MATERIILOR PRIME. FACTORI CARE INFLUENȚEAZĂ RANDAMENTUL PROCESULUI DE MĂCINARE

Măcinarea este operația de aducere a materiilor prime la dimensiuni granulare corespunzătoare alimentării lor în cuptor. Ea este de fapt operația finală de mărunțire și se execută fie uscat, fie pe

Scanned with OKEN Scanner

cale umedă, în funcție de procedeul tehnologic de fabricație adoptat. Măcinarea se realizează în mod obișnuit în mori tubulare cu bile, cu funcționare în circuit deschis sau închis. În cazul cînd materiile prime (calcarul, marna) au duritate mai mică decît 4 după scara Mohs, utilizarea morilor cu disc orizontal și valțuri (Loesche) sau a morilor cu inel orizontal și bile în locul morilor cu bile (în țări ca R.F.G., Elveția, Anglia etc.) duce la o micșorare importantă a consumului specific de energie necesar măcinării (cu 10—30%).

Instalațiile de măcinare se compun din utilaje de măcinare propriu-zise (morile) și utilaje auxiliare, care îndeplinesc următoarele funcțiuni :

— alimentarea morilor cu un debit constant, reglabil de material, cu menținerea proporțiilor dintre componenți la valorile prescrise ;

— clasarea materialului măcinat ;

— asigurarea debitului necesar de gaze calde în morile uscătoare ;

— ventilarea morilor pentru măcinare uscată ;

— evacuarea materialelor din mori, transportul lor între utilajele tehnologice ale instalației și evacuarea produsului finit din instalație ;

— ungerea lagărelor morii ;

— manipularea pieselor grele în timpul reparațiilor și la umplerea morii cu corpuri de măcinare.

7.6.5.1. **Instalații de măcinare-uscare.** În cazul procedeului uscat de fabricație, productivitatea morilor este influențată sensibil de umiditatea materialului (fig. 7.17).

Din această cauză, în unele cazuri se adoptă procedeul uscării prealabile a materiilor prime pînă la umidități de 1—2%. Aceasta presupune însă utilizarea unor instalații suplimentare (turnuri de uscare, uscătoare cu tambur rotativ etc.), ceea ce duce la creșterea investiției.

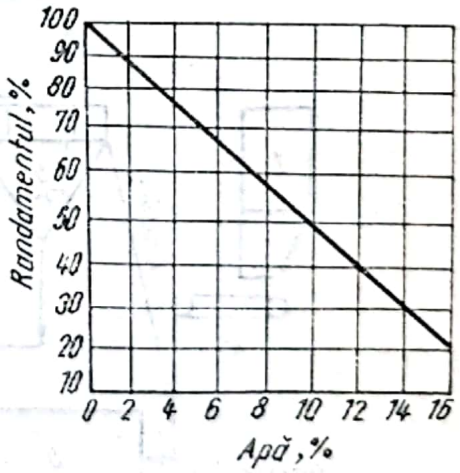


Fig. 7.17. Variația productivității morilor uscătoare (cu bile) în funcție de umiditatea materialului alimentat.

Procedeul cel mai des folosit este măcinarea cu uscarea simultană a materiilor prime în moară.

Uscarea se face cu ajutorul unui curent de gaze calde care sînt trecute prin moară. În majoritatea cazurilor, gazele au și rolul

Scanned with OKEN Scanner

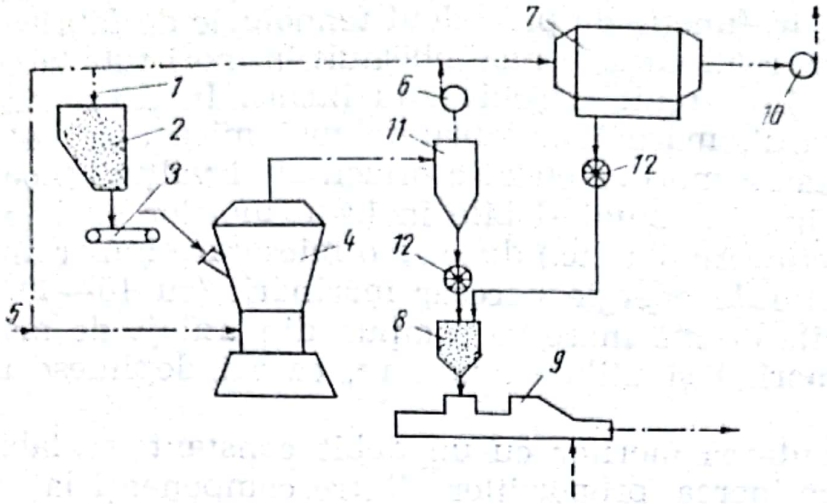


Fig. 7.18. Instalații de măcinare-uscare cu moară cu disc și valțuri :
1 — alimentare cu material; *2* — buncăr; *3* — dozator; *4* — moară; *5* — gaze calde; *6* — ventilator; *7* — filtru electrostatic; *8* — buncăr pentru material măcinat; *9* — pompă pneumatică cu melc; *10* — exhaustor; *11* — ciclon; *12* — ecluză celulară.

transportor, antrenînd particulele ajunse la o anumită finețe și transportîndu-le pînă la separatorul pneumatic și mai departe la filtru.

Gazele calde provin fie de la un generator de gaze calde, fie se refolosesc gazele evacuate din cuptor sau aerul cald de la răcitoarele de clincher.

În ultima vreme s-a extins mai ales procedeul utilizării pentru uscare în moară, a gazelor calde reziduale de la arderea clincherului.

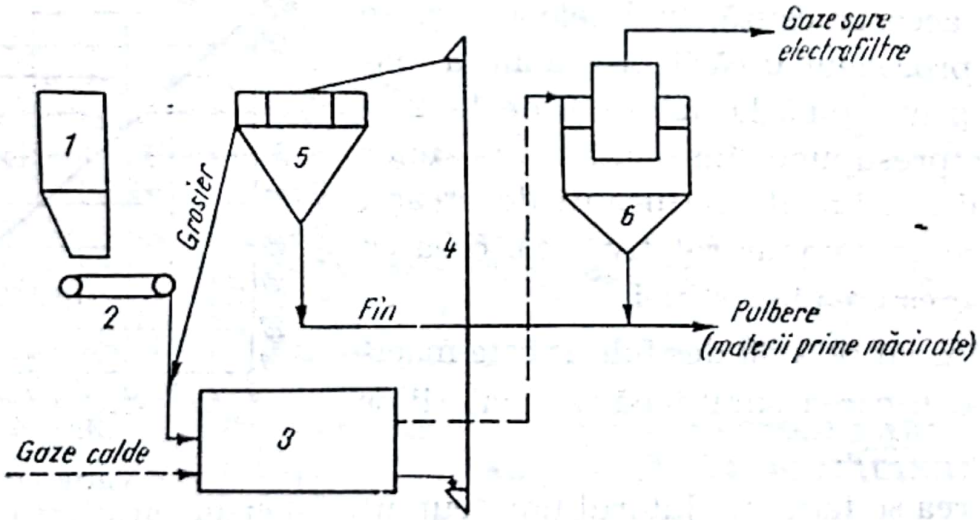


Fig. 7.18. Schemă de măcinare cu uscare concomitentă :
1 — buncăr de alimentare; *2* — dozator; *3* — moară cu bile; *4* — elevator cu cupe; *5* — separator pneumatic; *6* — ciclon.

Scanned with OKEN Scanner

Folosirea gazelor calde evacuate din cuptor necesită debite mai mari de gaz decît în cazul celor obținute în generatoare speciale de gaze calde. Din această cauză, secțiunea de trecere a morilor cu bile și mai ales secțiunea fusurilor trebuie mărită corespunzător. Din acest punct de vedere, secțiunea transversală mare a morilor cu disc și valțuri (fig. 7.18) se pretează cel mai bine acestui procedeu.

Instalațiile de măcinare-uscare funcționează de obicei cu recircularea fracțiunii grosiere de la separator (fig. 8.19).

7.6.5.2. **Instalații de măcinare umedă.** Măcinarea umedă a materiilor prime se face în instalații cu circuit deschis (fig. 7.20, *a*), cît

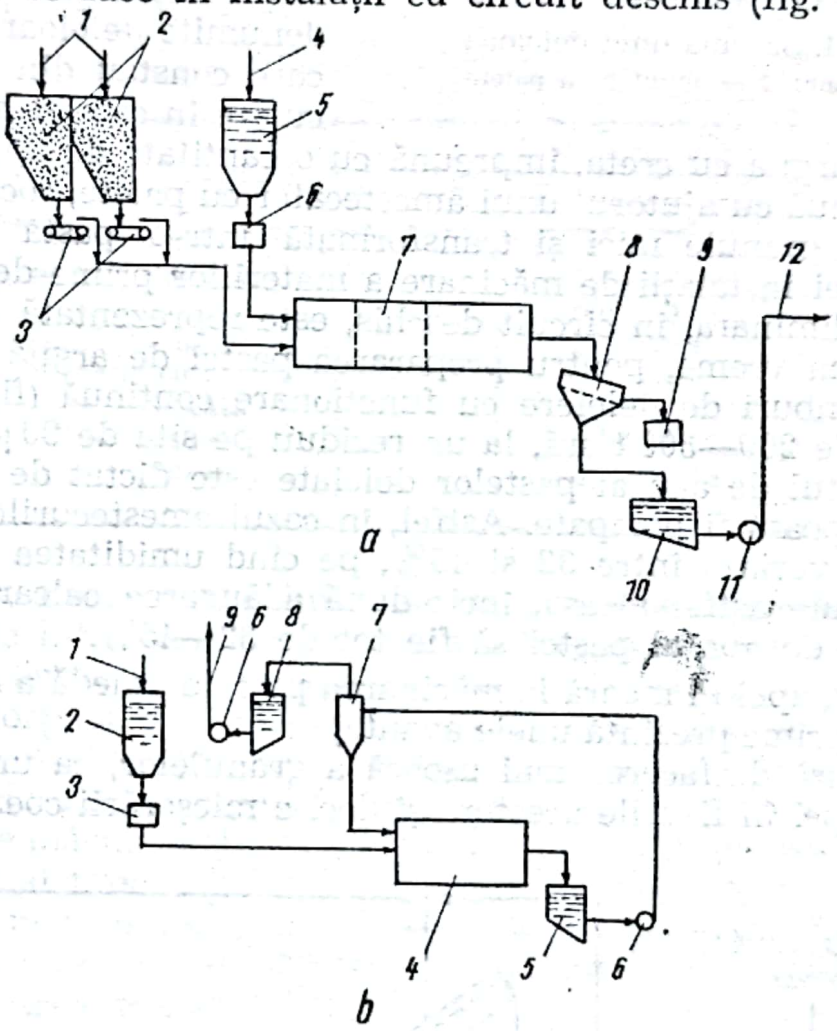


Fig. 7.20. Instalație de măcinare umedă a materiilor prime:

a — în circuit deschis: *1* — alimentare cu materii prime; *2* — buncăre; *3* — dozatoare; *4* — alimentare cu material deleiat; *5* — rezervor; *6* — dozator de pastă; *7* — moară cu mai multe camere; *8* — ciur vibrator; *9* — container de corpuri străine; *10* — rezervor de pastă; *11* — pompă de pastă; *12* — conductă de transport la bazinele de corecție; *b* — în circuit închis: *1* — alimentare cu material deleiat; *2* — bazin; *3* — dozator de pastă; *4* — moară cu bile; *5* — bazin de material măcinat; *6* — pompă de pastă; *7* — separator; *8* — bazin de pastă; *9* — conductă de transport spre îngroșător.

Scanned with OKEN Scanner

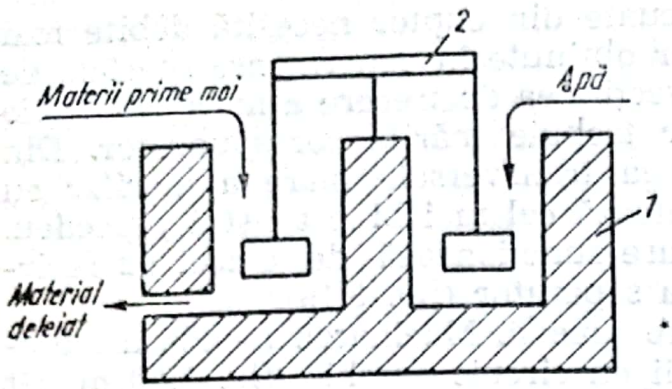


Fig. 7.21. Schema unui deleior :
1 — deleior; 2 — agitator cu palete.

și cu circuit închis (figura 7.20, *b*). În unele cazuri, pentru materiile prime deleiabile (argilă, cretă, marnă) concasarea lor este înlocuită cu operația de *deleiere,* care constă în fragmentarea (desfacerea) materialelor moi și semidure sub acțiunea apei. Ea se realizează în aparate denumite deleioare (fig. 7.21) care constau din bazine circulare în care se alimentează argila sau argila cu creta, împreună cu o cantitate de apă. Prin agitarea continuă cu ajutorul unui amestecător cu palete, roca este fragmentată în granule mici și transformată într-o pastă pompabilă. Schema unei instalații de măcinare a materiilor prime deleiabile, cu clasare preliminară, în circuit deschis, este reprezentată în fig. 7.22.

În ultima vreme, pentru prepararea pastei de argilă și cretă se folosesc tamburi de deleiere cu funcționare continuă (fig. 7.23), cu capacități de 200—300 t/oră, la un reziduu pe sita de 90 μm de 70%.

Conținutul de apă al pastelor deleiate este dictat de condiția ca acestea să poată fi pompate. Astfel, în cazul amestecurilor de argilă și cretă el variază între 32 și 45%, pe cînd umiditatea pastelor de argilă trebuie astfel aleasă, încît după adăugarea calcarului, conținutul total de apă al pastei să fie tot de 32—45%.

Prezența apei în moară la măcinarea pe cale umedă a amestecului de materii prime prezintă unele avantaje :

— asigură desfacerea mai ușoară a granulelor, ca urmare a pătrunderii apei în fisurile acestora și deci a micșorării coeziunii interfaciale ;

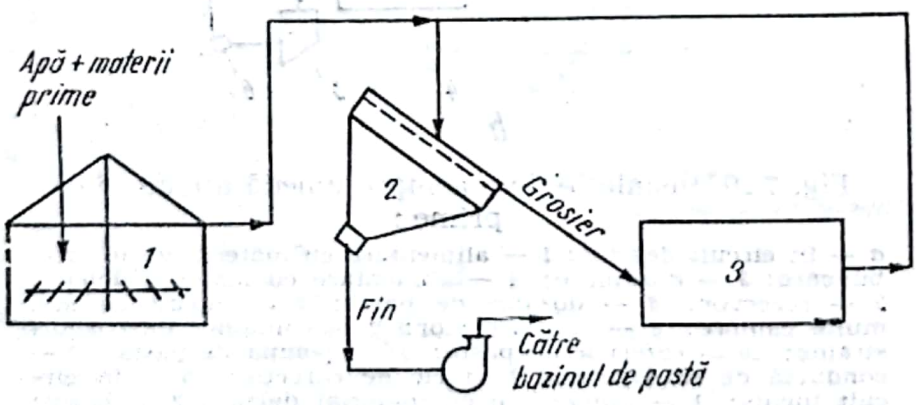


Fig. 7.22. Schema unei instalații de deleiere :
1 — deleior; 2 — ciur vibrator; 3 — moară cu bile.

Scanned with OKEN Scanner

— se evită lipirea materialului măcinat de blindajele morii și de corpuri de măcinare.

În tabelul 7.6 se prezintă comparativ cîteva valori pentru productivitatea specifică q (t/kWh), în cazul măcinării umede și uscate, celelalte condiții rămînînd neschimbate.

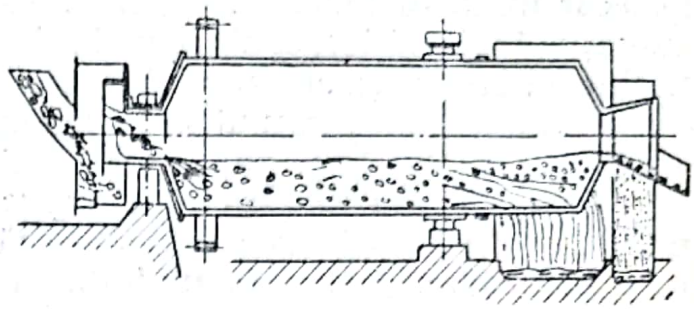


Fig. 7.23. Tambur de deleiere.

Tabelul 7.6

Denumirea materialului	q (t/kWh) pentru :	
	măcinare umedă :	măcinare uscată :
Marnă cu rezistență ridicată	0,04—0,06	0,04—0,05
medie	0,07—0,09	0,06—0,07
scăzută	0,10—0,12	0,08—0,10
Amestec argilă-calcar cu rezistență ridicată	0,05—0,07	0,05—0,06
medie	0,07—0,09	0,07—0,08
scăzută	0,10—0,15	0,08—0,10

7.6.5.3. **Factori care influențează randamentul energetic al morilor.** Este interesant de menționat că la morile cu bile, din consumul de energie al procesului de măcinare, energia teoretic necesară ruperii, forțelor de coeziune între particule reprezintă mai puțin de 1%, tot restul se pierde pentru învingerea unor forțe de inerție și frecare aferente instalației, sau prin încălzirea materialului, a corpurilor de măcinare și a tamburului morii ; prin urmare, randamentul energetic al procesului de măcinare este foarte mic.

Randamentul energetic al unei mori depinde de factori caracteristici materialului de măcinat și de factori dependenți de instalație și de conducerea procesului de măcinare.

Din prima categorie de factori se pot enumera :

— *Aptitudinea la măcinare a materialului,* dependentă de structura, duritatea, porozitatea, casabilitatea și friabilitatea acestuia, precum și de tendința lui de aglomerare.

— *Mărimea inițială a granulelor și finețea de măcinare dorită.* Este bine ca mărimea inițială a granulelor să nu depășească 25 mm, deoarece în caz contrar, consumul de energie crește mult și productivitatea morii scade. Același lucru se întîmplă dacă se urmărește obținerea unor finețe de măcinare foarte înaintate, ceea ce poate fi

Scanned with OKEN Scanner

necesar în cazul fabricării unor cimenturi de calitate superioară, de exemplu înalt alitice, sau în cazul folosirii unor materii prime cu aptitudine la clincherizare redusă ; în cazul cimenturilor portland obișnuite, finețea amestecului brut trebuie să corespundă unui rest de aproximativ 12—18% pe sita cu ochiuri de 90 μm.

— *Umiditatea materialului supus măcinării* intervine numai la morile în care măcinarea se realizează concomitent cu uscarea, deoarece la măcinarea uscată umiditatea amestecului de materii prime este limitată la 1%, iar în cazul măcinării umede acest factor nu intră în discuție. În cazul morilor uscătoare, productivitatea acestora scade în funcție de umiditatea inițială a materialului, după cum urmează :

— cu aproximativ 3—5%, pentru o umiditate de 5—8% ;
— cu aproximativ 5—10%, pentru o umiditate de 9—12% ;
— cu aproximativ 10—15%, pentru o umiditate de 13—15%.

La umidități mai mari de 15% se recomandă uscarea prealabilă a materiilor prime sau alegerea procedeului umed de fabricație.

Factorii referitori la instalația și conducerea procesului de măcinare, care influențează randamentul energetic al morii, sînt :

— schema tehnologică a instalației (circuit deschis sau închis) ;
— modul de realizare a blindajului morii ;
— calitatea și dimensiunea corpurilor de măcinare, gradul de uzură a corpurilor de măcinare și a blindajelor (este necesară trierea și înlocuirea la timp a celor uzate) ;
— întreținerea instalației (ungerea părților mobile, evitarea pătrunderii prafului în angrenaje) ;
— turația morii ;
— alegerea și întreținerea corespunzătoare a sistemelor de transport aferente instalației de măcinare ;
— asigurarea unui dozaj riguros al componenților amestecului brut, pentru a evita variații compoziționale și deci și variații în aptitudinea la măcinare a materialului supus măcinării ;
— asigurarea unui debit constant de alimentare în moară, cu cît funcționarea morii va fi mai uniformă în timp, randamentul energetic va fi mai bun ;
— separarea regulată a finului, a cărui prezență în moară scade randamentul procesului de măcinare prin amortizarea șocurilor provocate de căderea bilelor.

7.6.6. FLUIDIFICAREA AMESTECULUI BRUT

Obținerea unor paste pompabile, cu un conținut de apă cît mai mic, prezintă o importanță deosebită în cazul fabricării cimentului pe cale umedă. Aceasta are influență directă asupra procesului de

Scanned with OKEN Scanner

ardere, determinînd : un consum de combustibil mai redus, o productivitate mai mare a cuptorului.

Reducerea conținutului de apă din pastă este limitată însă de necesitatea asigurării unei bune pompabilități acesteia. Pompabilitatea pastelor de amestec brut depinde de proprietățile lor reologice, în particular de viscozitatea lor și pragul de tensiune (pragul de tensiune reprezintă forța minimă ce trebuie aplicată unei paste pentru ca aceasta să curgă).

Viscozitatea pastelor depinde de mai mulți factori :

— proprietățile particulelor solide dispersate ;
— gradul de măruntire al solidului ;
— proporția de apă din pastă ;
— prezența unor substanțe cu acțiune fluidificatoare ;
— condițiile de curgere (temperatura, calitatea suprafeței conductelor etc.).

Pastele de amestec brut sînt constituite în principal din calcar și argilă. Componentul calcaros este stabil din punct de vedere chimic, disocierea sa în apă este neglijabilă ; stabilitatea suspensiei de calcar și proprietățile sale reologice depind doar de raportul apă/solid și de gradul de măruntire a calcarului (cu cît particulele sînt mai fine, ele vor rămîne un timp mai îndelungat în suspensie). Prin urmare, proprietățile reologice ale pastelor de amestec brut sînt imprimate de natura mineralogică a componentului argilos. Argilele montmorillonitice și ilitice necesită o cantitate mai mare de apă pentru a forma paste pompabile în comparație cu argilele caolinitice.

Prezența anumitor substanțe în pastele de amestec brut poate reduce mult viscozitatea acestora sau poate asigura menținerea viscozității la valoarea dorită în condițiile reducerii cantității de apă din pastă. Aceste substanțe se numesc fluidificatori, iar acțiunea lor — fluidificare. Ele pot fi de natură ionică sau neionică.

Din grupa fluidificatorilor de natură ionică fac parte hidroxizii alcalini, carbonații alcalini, silicatul de sodiu, fluorosilicatului de sodiu. Pentru fiecare din aceste substanțe există o proporție optimă de adaos, care asigură un efect maxim de fluidificare (în corelare și cu natura componentului argilos din amestecul brut). În cazul creșterii cantității de fluidificator (electrolit) peste anumite limite, viscozitatea pastei crește. Reprezentînd grafic variația viscozității în funcție de cantitatea de fluidificator ionic adăugată în pastă se obține o curbă cu un minim — fig. 7.24.

Intervalul în care creșterea proporției de adaos fluidificator determină scăderea viscozității este mai larg în cazul carbonaților alcalini decît la adăugarea hidroxizilor corespunzători, ceea ce face ca din punct de vedere tehnologic, primele substanțe să fie mai indi-

Scanned with OKEN Scanner

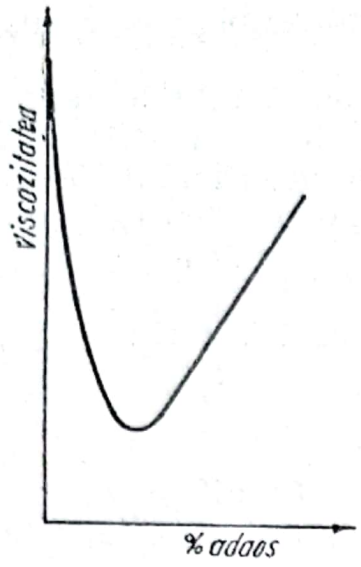


Fig. 7.24. Variația viscozității pastelor de amestec brut cu cantitatea de fluidificator adăugată.

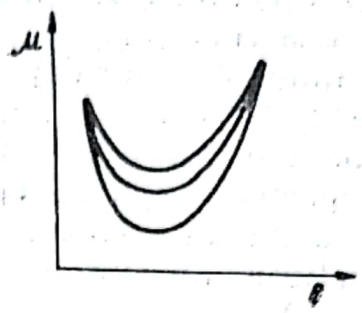


Fig. 7.25. Variația viscozității unor paste în funcție de temperatură : *1* — suspensie de cretă; *2* — suspensie de argilă; *3* — pastă de amestec brut.

cate, fiind mai ușor de dozat. Aceasta, corelat cu posibilitatea manevrării mai lesnicioase (hidroxizii alcalini au un efect corosiv mult mai pronunțat) și cu un cost mai redus, determină utilizarea cu precădere a carbonaților alcalini (în particular Na_2CO_3) drept adaosuri fluidificatoare.

Acțiunea adaosurilor fluidificatoare neionice se explică prin adsorbția lor pe particulele din suspensie, determinînd o oarecare hidrofobizare a acestora, mărind prin aceasta mobilitatea lor și, în consecință, fluiditatea pastei. În acest scop se pot folosi cu bune rezultate adaosuri de leșii bisulfitice.

În fabrică, fluidificatorii se adaugă sub formă de soluție în morile de amestec brut.

Influența temperaturii asupra viscozității se manifestă printr-o scădere a acesteia, odată cu încălzirea pastei pînă la 30—35 °C ; ridicarea temperaturii în continuare determină creșterea viscozității pastei (fig. 7.25).

7.6.7. OMOGENIZAREA ȘI PĂSTRAREA (DEPOZITAREA) AMESTECULUI BRUT

Amestecul brut măcinat prezintă, de regulă, variații compoziționale în timp. În mod curent, omogenitatea amestecului brut se verifică prin titrul său (conținutul procentual în $CaCO_3$). Amestecul se

consideră omogen cînd între valorile titrului diferitelor probe nu apar diferențe mai mari de ±0,12% în cazul procedeului umed și ±0,5% la procedeul uscat.

Metodele de omogenizare diferă în funcție de procedeul de fabricație — uscat sau umed. La procedeul uscat se folosește omogenizarea mecanică prin recirculare, pneumatică sau mixtă, iar la cel umed — omogenizarea mecanică, pneumatică sau cel mai des, sisteme combinate de omogenizare mecanică și pneumatică. Ansamblul de silozuri pentru omogenizarea făinii brute, respectiv bazine pentru pastă trebuie să aibă o capacitate de 3—5 ori mai mare decît necesarul de amestec brut pe 24 ore al fabricii. De regulă se prevăd 3—5 silozuri, respectiv bazine (obligatoriu trebuie să fie cel puțin două), astfel încît fiecare să cuprindă necesarul de amestec brut pentru o zi.

De la moară, amestecul brut se introduce într-un siloz, respectiv bazin de omogenizare pînă la umplerea acestuia în proporție de 1/2—1/3 din volum, se omogenizează și se verifică titrul. Dacă acesta prezintă abateri față de cel prescris se face corectarea cu un amestec brut corespunzător (fie din alt siloz, fie direct de la moară), se repetă operația de omogenizare, se verifică din nou titrul și se trece amestecul brut astfel pregătit în silozul, respectiv bazinul de păstrare, pînă la umplerea acestuia.

7.6.7.1. **Instalații pentru omogenizarea făinii brute.** Amestecarea făinii brute este o operație dificilă, ea depinde în cea mai mare măsură de mobilitatea particulelor componente. În scopul omogenizării amestecului granular polidispers se poate aplica unul din procedeele următoare :

Omogenizarea mecanică prin recirculare (fig. 7.26) presupune realizarea amestecării straturilor succesive de material din silozurile de omogenizare în urma golirii lor prin curgere în trombă, așa cum se arată schematic în fig. 7.27.

Omogenizarea pneumatică presupune aducerea făinii brute în stare parțial fluidizată, cu ajutorul unui gaz. Prin aceasta se mărește considerabil mobilitatea particulelor componente, ceea ce face ca omogenizarea să se realizeze mult mai ușor decît în cazul folosirii metodelor mecanice.

Silozurile de omogenizare se construiesc din tablă de oțel pentru capacități mici, sau din beton armat. La toate tipurile de silozuri de omogenizare pneumatică, fundul este prevăzut cu casete (plăci) de fluidizare, realizate dintr-un material poros (metal sinterizat, material ceramic, material textil din fibre artificiale) prin care este insuflat aer cu un debit care să producă fluidizarea parțială a făinii.

Scanned with OKEN Scanner

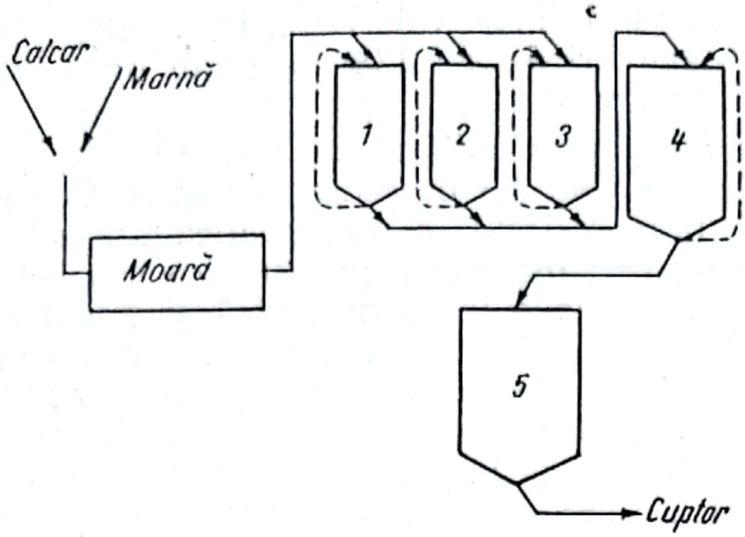


Fig. 7.26. Schema de funcționare a silozurilor de omogenizare mecanică :

1, 2, 3 — silozuri de omogenizare; *4* — siloz de corecție; *5* — siloz de păstrare.

Silozurile de omogenizare pneumatică pot funcționa în șarje (fig. 7.28, *a*) sau în flux continuu (fig. 7.28, *b, c*), metodă ce tinde să se generalizeze în cazul în care se dispune de materii prime cu compoziție chimică uniformă sau cînd, în cadrul fluxului tehnologic, se realizează preomogenizarea materiilor prime.

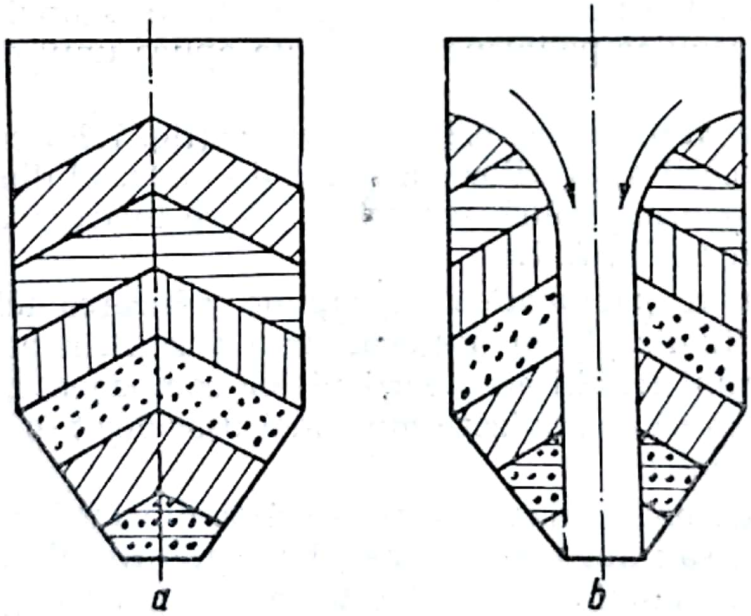


Fig. 7.27. Schema omogenizării mecanice prin recircularea făinii brute :

a — umplere; *b* — golire.

Scanned with OKEN Scanner

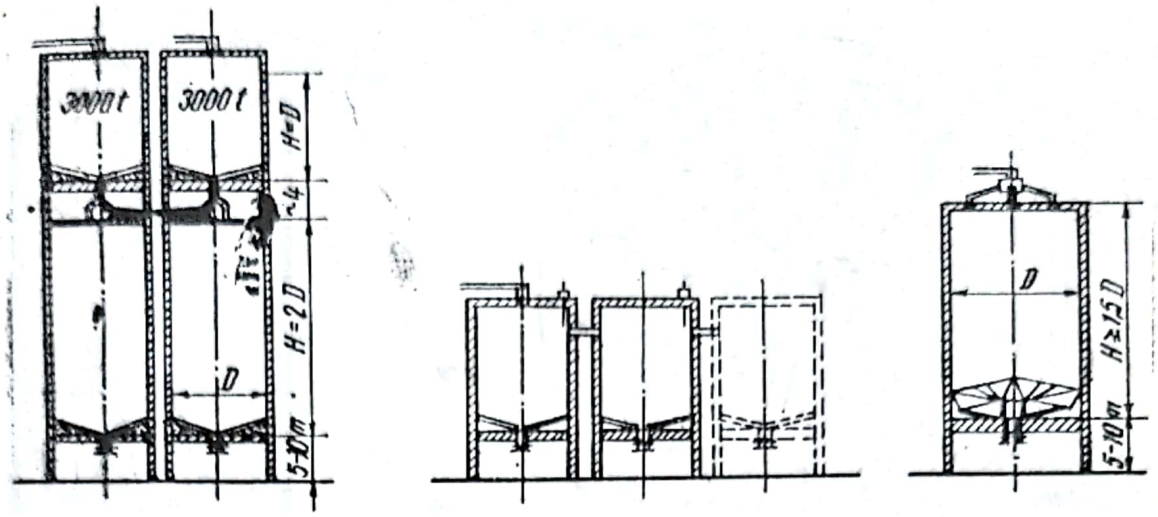


Fig. 7.28. Silozuri de omogenizare a făinii brute :
a — omogenizare în şarje de max. 3 000 t/siloz; *b* — omogenizare în flux continuu, sistem cascadă, de max. 3 000 t/zi; *c* — omogenizare în flux continuu cu cameră de amestec de 3 000 t/zi pentru o pereche de silozuri.

În cazul metodei de *omogenizare în şarje,* după modul de compartimentare a plăcilor de fluidizare, se deosebesc următoarele sisteme :

— *Sistemul Fuller* (al sferturilor) — fig. 7.29, *a* se caracterizează prin aceea că fundul silozului este împărţit în 4 sectoare egale. După umplerea silozului se insuflă aer cu presiune mai ridicată într-un sector (care este activ), în timp ce în celelalte trei se insuflă aer de joasă presiune. Făina brută va căpăta o mişcare de rotaţie atît pe verticală, cît şi pe orizontală, realizîndu-se astfel omogenizarea ei. Sectoarele active se schimbă pe rînd după un anumit timp (10—15 min). La sfîrşitul ciclului, făina este omogenizată.

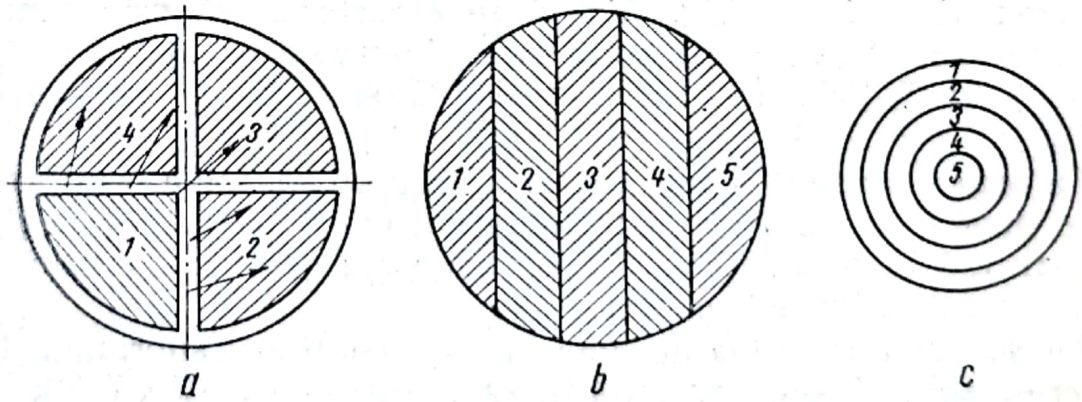


Fig. 7.29. Scheme de insuflare a aerului în silozurile de omogenizare a făinii brute, funcţionînd în şarje :
a — sistem Fuller; *b* — sistem VEB Dessau; *c* — sistem Klinger.

Scanned with OKEN Scanner

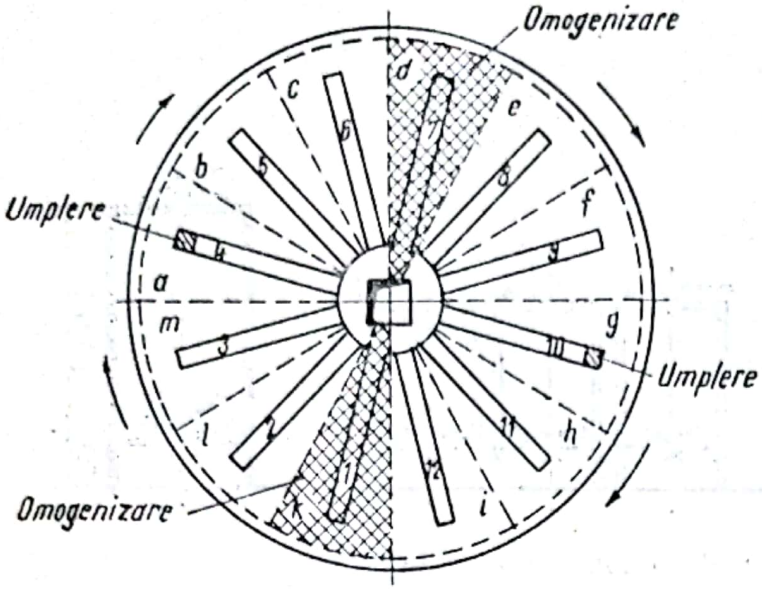
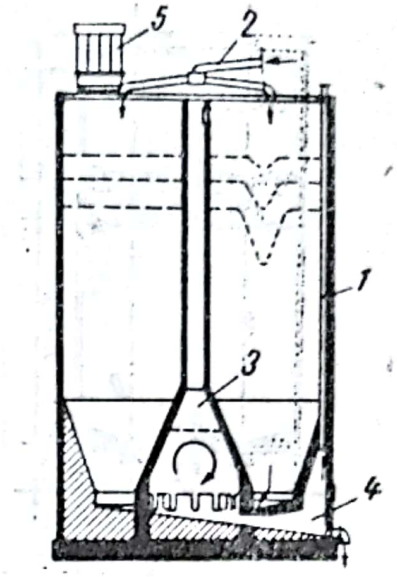


Fig. 7.30. Schema de alimentare și insuflare de aer la sistemul de omogenizare Polysius.



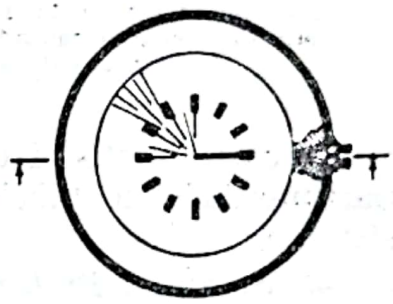


Fig. 7.31. Schema silozului de omogenizare cu cameră de amestec :

1 — siloz; *2* — rigole pneumatice; *3* — cameră de amestec; *4* — canal de evacuare; *5* — filtru.

După terminarea omogenizării șarja este descărcată în silozul de păstrare aflat sub cel de omogenizare.

Sistemul VEB Dessau (fig. 7.29, *b*) prevede împărțirea fundului silozului în 5 benzi, a căror arie să îndeplinească egalitatea : $S_1+S_3+S_5=S_2+S_4$. Într-o primă perioadă se insuflă aer prin benzile $1+3+5$, apoi prin benzile $2+4$.

Sistemul Klinger (fig. 7.29, *c*) se caracterizează prin faptul că fundul silozului este împărțit în benzi inelare concentrice, astfel încît $S_1+S_3=S_2+S_4$. În prima perioadă sînt active benzile $1+3$, apoi $2+4$.

La *omogenizarea în flux continuu în cascadă,* făina brută ce vine de la moară este omogenizată în prima etapă într-un siloz și apoi este trecută într-un al doilea siloz unde omogenizarea continuă. De aici făina este trimisă la cuptor.

La *sistemul Polysius* de omogenizare continuă, suprafața de insuflare a aerului este împărțită în 12 sectoare egale (fig. 7.30). Se insuflă aer concomitent în două sectoare opuse. Suprafața de insuflare fiind mică, debitul de aer pe unitatea de suprafață este mare și omogenizarea este deosebit de intensă.

Scanned with OKEN Scanner

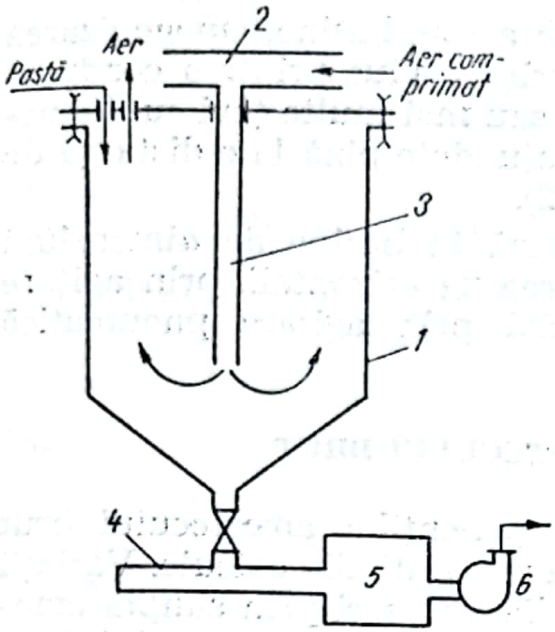


Fig. 7.32. Bazin de pastă cu agitare pneumatică :

1 — bazin; *2* — conductă centrală de aer comprimat; *3* — țeavă de aer comprimat; *4* — conductă colectoare de pastă; *5* — bazin tampon; *6* — pompă de pastă.

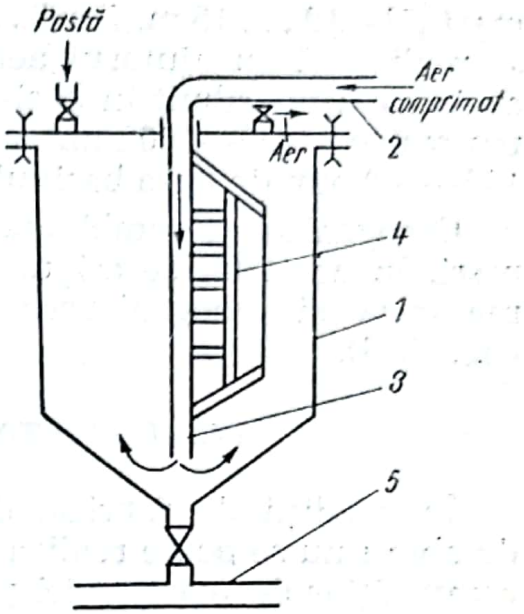


Fig. 7.33. Bazin de pastă cu amestecare combinată (mecanică și pneumatică) :

1 — bazin; *2* — conductă centrală de aer comprimat; *3* — țeavă de aer comprimat; *4* — dispozitiv rotativ pentru agitare mecanică; *5* — conductă colectoare de pastă.

O perfecționare în tehnica omogenizării o constituie *silozurile de omogenizare cu cameră de amestec* (fig. 7.31). Omogenizarea se realizează mai ales în camera de amestec printr-o turbionare puternică a suspensiei de făină brută în aer.

7.6.7.2. **Instalații pentru omogenizarea pastelor de amestec brut.** Omogenizarea pastelor brute se realizează în bazine din beton sau metalice, cu secțiune circulară sau dreptunghiulară. Bazinele cu agitare mecanică se caracterizează prin dimensiuni relativ reduse ($D=5 \ldots 7$ m, $H=4 \ldots 5$ m). Dispozitivul de agitare constă din unul sau mai mulți arbori verticali pe care sînt montate palete fixe. O largă răspîndire au agitatoarele planetare care constau dintr-un ax central pe care se montează o grindă metalică de care sînt suspendate mai multe agitatoare verticale, care se mișcă în jurul axului lor. Întregul sistem se mișcă în jurul axului central.

Agitatoarele mecanice prezintă o serie de dezavantaje :

— eficacitatea omogenizării pe verticală este mică ;

— conțin multe piese în mișcare și defectarea uneia implică oprirea întregii instalații ;

— uzura pieselor metalice în contact cu pasta este ridicată ;

— bazinele ocupă un spațiu mare.

Bazinele cu agitare pneumatică realizează o amestecare pe verticală mai bună, motiv pentru care ele se pot construi cu înălțimi mai

Scanned with OKEN Scanner

mari ($H = 10 \ldots 15$ m, $D = 5 \ldots 10$ m). În aceste bazine, omogenizarea se realizează cu ajutorul aerului comprimat adus printr-o conductă centrală și distribuit în bazin prin una sau mai multe țevi cu diametru mai mic (50—100 mm), care sînt scufundate pînă la o distanță de 400—500 mm de baza bazinului (fig. 7.32).

Omogenizarea combinată se realizează în bazine de dimensiuni mari. În acest fel se asigură amestecarea pe orizontală prin agitare mecanică și omogenizarea pe verticală prin agitare pneumatică (fig. 7.33).

7.6.8. CORECTAREA AMESTECULUI BRUT

În condiții de fabrică, dozarea componenților amestecului brut de obicei nu se poate realiza cu precizia rezultată din calcule. Variații compoziționale foarte mici pot fi remediate uneori prin simplă omogenizare, dar de obicei este necesară corectarea amestecului brut pentru a obține clincherul de calitatea dorită. Neuniformitatea compoziției rezultă pe de o parte datorită preciziei limitate a instalațiilor de dozare, iar pe de altă parte datorită variațiilor în compoziția materiilor prime. De obicei, corectarea amestecului brut se face după titrul său, a cărui determinare se poate face repede și ușor. În cazul unor materii prime cu variații compoziționale mari sau dacă se urmărește obținerea unor clinchere cu caracteristici modulare foarte precise, corectarea în funcție de titru este insuficientă și este necesar să se aplice corectarea după moduli. Aceasta implică dozarea rapidă a conținutului de SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 și CaO în amestecul brut, ceea ce este posibil numai dacă fabricile respective sînt dotate cu aparatură de analiză fizico-chimică (analiză roentgen prin fluorescență); metodele clasice de analiză chimică nefiind destul de operative, ar frîna fluxul tehnologic.

Aducerea titrului amestecului brut la valoarea prescrisă se face prin amestecarea acestuia cu un alt amestec brut cu titru cunoscut, în proporții care rezultă din calcul. Pentru efectuarea acestor calcule există mai multe căi :

— metoda bilanțului ;

— regula pîrghiei ;

— metoda amestecurilor.

Se adoptă următoarele notații :

A — cantitatea de făină brută (sau pastă) de corectat ;

B — cantitatea de făină brută (sau pastă) pentru corecție ;

C — cantitatea de făină brută (sau pastă) corectată ;

$a, b, c,$ — valoarea titrului pentru cele trei amestecuri brute.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru *bilanțul de materiale* se scrie :

$$A+B=C \qquad (1)$$

$$aA+bB=cC \qquad (2)$$

Înlocuind relația (1) în relația (2), rezultă :

$aA+bB=c(A+B)$. Se împarte la B :

$$a\frac{A}{B}+b=c\frac{A}{B}+c\frac{A}{B}(a-c)=c-b$$

Rezultă :

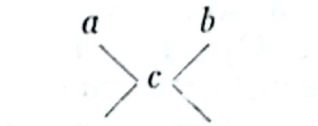
$$\frac{A}{B}=\frac{c-b}{a-c}$$

Folosind *regula pîrghiei,* se procedează astfel :

$$A=\frac{b-c}{b-a};\quad B=\frac{c-a}{b-a}$$

$$\frac{A}{B}=\frac{b-c}{c-a}$$

Pentru *regula amestecurilor* se notează :



$$A=b-c \quad B=c-a$$

Pentru a obține amestecul C cu titrul c trebuie să se combine amestecurile A și B după raportul : $\frac{A}{B}=\frac{b-c}{c-a}$.

Corectarea în funcție de modulul de alumină se face notînd cu :

A — amestecul brut de corectat ;

B — amestecul brut pentru corecție ;

a_1, a_2 — conținutul procentual de Al_2O_3, respectiv Fe_2O_3 din amestecul A ;

b_1, b_2 — conținutul procentual de Al_2O_3, respectiv Fe_2O_3 din amestecul B ;

M_{Al} — valoarea modulului de alumină pentru amestecul corectat.

Se scrie relația modulului de alumină :

$$M_{Al}=\frac{x\ \%\ Al_2O_3}{y\ \%\ Fe_2O_3}$$

unde $x=a_1A+b_1B$ și $y=a_2A+b_2B$;

rezultă :

$$M_{Al} = \frac{a_1 A + b_1 B}{a_2 A + b_2 B} = \frac{a_1 \frac{A}{B} + b_1}{a_2 \frac{A}{B} + b_2}$$

din care se scoate valoarea raportului A/B :

$$\frac{A}{B} = \frac{M_{Al} b_2 - b_1}{a_1 - M_{Al} a_2}$$

Corectarea în funcție de modulul de silice se face notînd cu :

A — amestecul brut de corectat ;

B — amestecul brut pentru corecție ;

a_1, a_2, a_3 — conținutul procentual de SiO_2, Al_2O_3 și Fe_2O_3 din amestecul A ;

b_1, b_2, b_3 — conținutul de SiO_2, Al_2O_3, respectiv Fe_2O_3 din amestecul B.

Printr-un calcul condus în mod similar ca la modulul de alumină se ajunge la următoarea expresie pentru valoarea raportului între cele două amestecuri brute :

$$\frac{A}{B} = \frac{M_{Si}(b_2 + b_3) - b_1}{a_1 - M_{Si}(a_2 + a_3)}$$

La *corectarea amestecului brut în funcție de gradul de saturare*, calculul se face ca și cînd s-ar amesteca un component calcaros (amestecul brut mai bogat în CaO) cu unul argilos (amestecul brut mai sărac în CaO), pentru a rezulta un amestec cu un anumit S_K impus. Se folosește în acest scop relația dedusă la calculul amestecului brut din doi componenți :

$$x = \frac{C_1 - S_K (2{,}8\, S_1 + 1{,}1\, A_1 + 0{,}7\, F_1)}{S_K (2{,}8\, S_2 + 1{,}1\, A_2 + 0{,}7\, F_2) - C_2}$$

în care indicele *1* se referă la compoziția oxidică a amestecului mai bogat în CaO, indicele *2* la compoziția oxidică a amestecului brut mai sărac în CaO, iar x reprezintă părți de amestec brut mai sărac în CaO care trebuie amestecate cu o parte amestec brut mai bogat în CaO, pentru a rezulta amestec brut cu S_K impus.

Dacă arderea clincherului se face cu combustibil solid, iar cenușa rezultată se înglobează (parțial sau total) în compoziția clincherului, calculul de corecție trebuie să țină seama de modificările compoziționale determinate de acest proces. Pentru aceasta, calculul de corecție se face în funcție de compoziția clincherului după înglobarea cenușii, iar trecerea la dozajul de amestecuri brute se face înmulțind rezultatele obținute cu factorul de transformare $k = 100/(100 - Pc)$, unde Pc este pierderea la calcinare a amestecului brut corespunzător.

Scanned with OKEN Scanner

7.6.9. TRANSPORTUL AMESTECULUI

Se realizează diferit în funcție de starea amestecului brut — pulbere sau pastă.

Pastele de amestec brut se transportă cu ajutorul pompelor centrifuge sau cu piston. În acest caz prezintă o importanță deosebită viscozitatea pastelor și stabilitatea acestora. Suspensiile instabile se separă, iar depunerea solidului pe conducte influențează negativ transportul. De asemenea, transportul suspensiilor avînd viscozitate prea mare, este dificil.

Pentru a aprecia într-un mod ușor accesibil proprietățile reologice ale pastelor de amestec brut, s-a introdus noțiunea de „viscozitate aparentă", care reprezintă viscozitatea unui lichid newtonian care ar curge în același mod ca și pasta de amestec brut examinată. Se dă următoarea relație de curgere :

$$P = L \frac{\mu_a}{d} \left(\frac{w}{92\, d} + 0{,}65 \right),$$

în care :

P este presiunea care trebuie asigurată pentru a avea loc curgerea ;
L — lungimea conductei de curgere ;
d — diametrul conductei de curgere ;
μ_a — viscozitatea aparentă ;
w — viteza de curgere a pastei.

Examinînd relația se constată că presiunea necesară (deci și cheltuielile pentru producerea ei) scade odată cu creșterea diametrului conductelor ; pe de altă parte însă, cheltuielile de instalare a conductelor sînt cu atît mai mari cu cît diametrul acestora este mai mare. Reprezentînd grafic aceste tendințe de variație (fig. 7.34), se constată existența unui minim pe curba cheltuielilor totale (de montaj și exploatare) corespunzător unui anumit diametru al conductelor.

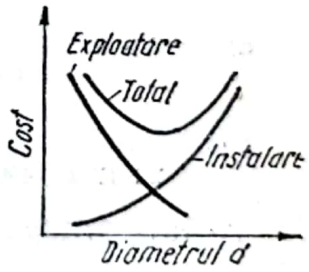


Fig. 7.34. Dependența cheltuielilor de diametrul conductelor, pentru instalații de transport al pastelor brute.

Amestecul brut pulverulent (făina brută) se poate transporta mecanic și pneumatic. Transportul mecanic se realizează cu transportoare elicoidale (pe orizontală) sau cu elevatoare cu cupe (pe verticală). Transportul pneumatic capătă extindere tot mai mare datorită avantajelor pe care le prezintă :

— nu are piese în mișcare, în contact cu pulberea ;
— realizează izolarea completă a sistemului ;
— are capacitate mare de transport ;

Scanned with OKEN Scanner

— permite automatizarea completă a instalației ;
— are funcționare lipsită de zgomot ;
— consumul de energie este mai mic decît la transportul mecanic.

7.6.10. APLICAȚII

A. Se dau următoarele materii prime :

Denumirea materiei prime	Compoziția oxidică, în %					
	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Alți oxizi	P.c.
Calcar	52,1	2,2	0,9	0,4	1,4	43,0
Marnă	13,2	49,2	13,1	5,1	1,7	17,7
Cenușă de pirită	6,9	11,2	4,5	74,5	1,2	1,7

Se cere să se calculeze :

a) compoziția procentuală în calcar, marnă și cenușă de pirită a amestecului brut avînd $S_K = 0{,}95$ și $M_{Si} = 2{,}3$;

b) necesarul de calcar, marnă, cenușă de pirită și ghips pentru un an, considerînd că :

— producția de ciment este de 2×10^6 t/an ;
— la măcinarea cimentului se adaugă 6% ghips ;
— pierderile prin praf nerecuperabile reprezintă 2,12% din producția totală ;
— umiditatea medie de zăcămînt a calcarului este de 2,5% iar a marnei — 5,3%.

Rezolvare :

a) $$S_K = \frac{C_1 + xC_2 + yC_3}{2{,}8\,(S_1 + xS_2 + yS_3) + 1{,}1\,(A_1 + xA_2 + yA_3) + 0{,}7\,(F_1 + xF_2 + yF_3)}$$

$$0{,}95 = \frac{52{,}1 + 13{,}2x + 6{,}9y}{2{,}8\,(2{,}2 + 49{,}2x + 11{,}2y) + 1{,}1\,(0{,}9 + 13{,}1x + 4{,}5y) + 0{,}70\,(0{,}4 + 5{,}1x + 74{,}5y)}$$

$$134{,}75x + 77{,}13y = 49{,}04$$

$$M_{Si} = \frac{S_1 + xS_2 + yS_3}{A_1 + xA_2 + yA_3 + F_1 + xF_2 + yF_3}$$

$$2{,}3 = \frac{2{,}2 + 49{,}2x + 11{,}2y}{0{,}9 + 0{,}4 + (13{,}1 + 5{,}1)\,x + (1{,}5 + 74{,}5)\,y}$$

$$7{,}34x - 172{,}8y = 0{,}79$$

Scanned with OKEN Scanner

Prin rezolvarea sistemului de două ecuații se determină valorile lui x și y:

$$134{,}75x+77{,}13y=49{,}04$$
$$7{,}34x-172{,}8y=0{,}79$$

$x=0{,}3287$ părți marnă la o parte calcar;
$y=0{,}0094$ părți cenușă de pirită la o parte calcar.

(1+0,3287+0,0094) părți amestec brut ... 1 parte calcar
100 ..... x $x=74{,}73\%$ calcar

(1+0,3287+0,0094) părți amestec brut ... 0,3287 părți marnă
100 ..... y $y=24{,}56\%$ marnă

(1+0,3287+0,0094) părți amestec brut ... 0,0094 părți cenușă
100 ..... z $z=0{,}71\%$ cenușă de pirită

b) Ținînd seama de pierderi, producția de ciment va fi:
$2\times10^6+2\times10^6\times0{,}0212=2{,}0424\times10^6$ t/an
— Cantitatea de ghips va fi:
$2{,}0424\times10^6\times0{,}06=122\,544$ t/an
— Cantitatea de clincher va fi:
$2{,}0224\times10^6-0{,}122544\times10^6=1{,}919856\times10^6$ t/an
Pierderea la calcinare a făinii brute este:

$$Pc_0=\frac{Pc_1+xPc_2+yPc_3}{1+x+y}=\frac{43+0{,}3287\times17{,}7+0{,}0094\times1{,}7}{1{,}3381}=36{,}495\%.$$

— Pentru cantitatea de calcar rezultă:

$$\left(\frac{74{,}73}{100}\times\frac{100}{100-Pc}\times\frac{100}{100-u}\right)\times1{,}919856\times10^6=$$

$$=\frac{74{,}73}{100}\times\frac{100}{100-36{,}495}\times\frac{100}{100-2{,}5}\times1{,}919856\times10^6=2{,}317133\times10^6\text{ t/an}$$

— Pentru cantitatea de marnă rezultă:

$$\frac{24{,}46}{100}\times\frac{100}{100-36{,}495}\times\frac{100}{100-5{,}3}\times1{,}919856\times10^6=0{,}780849\times10^6\text{ t/an}$$

— Pentru cantitatea de cenușă de pirită rezultă:

$$\frac{0{,}71}{100}\times\frac{100}{100-36{,}495}\times1{,}919856\times10^6=21\,463\text{ t/an.}$$

B. Se urmărește obținerea unui clincher portland avînd $S_{\hat{a}}\geqslant0{,}90$, în condițiile în care arderea se face cu combustibil solid iar cenușa rezultată este înglobată în proporție de 70% în compoziția clincherului. Consumul specific de combustibil este de 0,4 kg/kg clincher, iar conținutul de cenușă din com-

Scanned with OKEN Scanner

bustibil este de 15%. Analiza materiilor prime și a cenușii din cărbune sînt prezentate în continuare :

Denumirea	Compoziția oxidică, în %					
	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Alți oxizi	P.c.
Calcar	52,1	2,2	0,9	0,4	1,4	42
Marnă	13,2	48,2	13,1	6,1	1,7	17,7
Cenușă din cărbuni	13,5	40,5	23,0	18,0	5,0	—

Să se determine compoziția procentuală în calcar și marnă a amestecului brut.

Rezolvare :

Ținînd seama de compoziția sensibil mai acidă a cenușii din cărbuni față de compoziția unui clincher portland obișnuit, este evident că înglobarea cenușii va determina o oarecare reducere a gradului de saturație. În aceste condiții, pentru a realiza un clincher final cu S_K 0,90, se va impune pentru amestecul brut inițial un S_K ceva mai mare, de ex. $S_K = 0{,}98$. În continuare se calculează compoziția amestecului brut și a clincherului fără luarea în considerație a înglobării cenușii, după care se recalculează compoziția clincherului ținînd seama de înglobarea cenușii, verificînd totodată valoarea modulilor.

Calculul compoziției amestecului brut fără înglobarea cenușii :

$$x = \frac{C_1 - S_K(2{,}8\,S_1 + 1{,}1\,A_1 + 0{,}7\,F_1)}{S_K(2{,}8\,S_2 + 1{,}1\,A_2 + 0{,}7\,F_2) - C_2} =$$

$$= \frac{52{,}1 - 0{,}98\,(2{,}8 \times 2{,}2 + 1{,}1 \times 0{,}9 + 0{,}7 \times 0{,}4}{0{,}98\,(2{,}8 \times 48{,}2 + 1{,}1 \times 13{,}1 + 0{,}7 \times 6{,}1) - 13{,}2} = 0{,}326$$

(1+0,326) părți amestec brut ... 1 parte calcar ... 0,326 părți marnă
100 a b

$$a = \frac{100}{1{,}326} = 75{,}41\%\ \text{calcar}$$

$$b = \frac{100 \times 0.326}{1{,}326} = 24{,}59\%\ \text{marnă}$$

Compoziția oxidică a amestecului brut va fi :

$$C_0 = \frac{52{,}1 + 0{,}326 \times 13{,}2}{1{,}326} = 42{,}54\%\ \text{CaO}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$S_0 = \frac{2,2 + 0,326 \times 48,2}{1,326} = 13,51\%\ SiO_2$$

$$A_0 = \frac{0,9 + 0,326 \times 13,1}{1,326} = 3,90\%\ Al_2O_3$$

$$F_0 = \frac{0,4 + 0,326 \times 6,1}{1,326} = 1,80\%\ Fe_2O_3$$

$$Pc_0 = \frac{43 + 0,326 \times 17,7}{1,326} = 36,78\%\ P.c.$$

$$\text{Alți oxizi} = \frac{1,4 + 0,326 \times 1,7}{1,326} = 1,47\%\ \text{alți oxizi.}$$

Compoziția oxidică a clincherului fără înglobarea cenușii va fi :

$$CaO = \frac{100 \times C_0}{100 - Pc_0} = \frac{42,54 \times 100}{100 - 36,78} = 67,29\%$$

$$SiO_2 = \frac{100 \times S_0}{100 - Pc_0} = \frac{13,51 \times 100}{100 - 36,78} = 21,37\%$$

$$Al_2O_3 = \frac{100 \times A_0}{100 - Pc_0} = \frac{3,90 \times 100}{100 - 36,78} = 6,17\%$$

$$Fe_2O_3 = \frac{100 \times F_0}{100 - Pc_0} = \frac{1,80 \times 100}{100 - 36,78} = 2,85\%$$

$$\text{Alți oxizi} = \frac{100 \times 1,47}{100 - 36,78} = 2,32\%$$

Cantitatea de cenușă înglobată în 1 kg clincher va fi : $0,4 \times 0,15 \times 0,7 = 0,042$ kg cenușă/kg clincher.

Compoziția clincherului după înglobarea cenușii va fi :

Componenți (%) :	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Alți oxizi
Clincher × 0,958	64,46	20,47	5,91	2,73	2,22
Cenușă × 0,042	0,57	1,70	0,97	0,76	0,21
Clincher final	65,03	22,17	6,88	3,49	2,43

Caracteristicile modulare ale clincherului final sînt :

$$S_K = \frac{65,03}{2,8 \times 22,17 + 1,1 \times 6,88 + 3,49 \times 0,7} = 0,902$$

Scanned with OKEN Scanner

$$M_{Si} = \frac{22,17}{6,88+3,49} = 2,14$$

$$M_{Al} = \frac{6,88}{3,49} = 1,97.$$

Clincherul îndeplinește condiția $S_K \geqslant 0,90$ impusă inițial iar valoarea modulilor de silice și de alumină corespunde unui ciment portland normal.

C. Se dau următoarele materii prime :

Denumirea materiei prime	Compoziția oxidică, în %					
	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Alți oxizi	P.c.
Marnă	52,1	2,2	0,9	0,4	1,4	43
Calcar	13,2	49,2	13,1	5,1	1,7	17,7

Se cere să se calculeze :

a) compoziția procentuală în calcar și marnă a amestecului brut avînd $S_K = 0,95$;

b) compoziția oxidică a amestecului brut avînd $S_K = 0,95$;

c) compoziția în calcar și marnă a amestecului brut avînd titrul $CaCO_3 = 75,63\%$ (corespunzător gradului de saturare $S_K = 0,95$) ;

d) valoarea M_{Si} și M_{Al} pentru amestecul brut calculat ; să se aprecieze dacă acestea se încadrează în domeniul cimenturilor portland normale.

Răspunsuri :

a) 74,93% calcar ; 25,07% marnă ;

b) 42,35% CaO ; 13,98% SiO_2 ; 3,96% Al_2O_3 ; 1,58% Fe_2O_3 ; 1,47% alți oxizi ; 36,66% P.c.

c) calcar/marnă = 1/0,3345 ;

d) $M_{Si} = 2,52$; $M_{Al} = 2,51$.

Amestecul brut calculat se încadrează în domeniul cimenturilor portland normale ; totuși, se recomandă corectarea modulului de alumină la o valoare cuprinsă între 1,7 și 2, pentru a realiza o clincherizare mai ușoară ; pentru aceasta se va folosi ca adaos de corecție cenușă de pirită, iar calculul amestecului brut din trei componenți se face în funcție de S_K și M_{Al}.

D. Dintr-un amestec de corectat A cu 7,5% Al_2O_3 și 3% Fe_2O_3 și un amestec pentru corectat B cu 5,7% Al_2O_3 și 6% Fe_2O_3, să se obțină un amestec final cu $M_{Al} = 1,6$. Să se determine în ce raport trebuie amestecați cei doi componenți.

Răspuns : $A/B = 1,44$.

E. Amestecul brut A cu 44% CaO, 11% SiO_2, 3% Al_2O_3, 2% Fe_2O_3, 2% alți oxizi și 38% pierdere la calcinare, trebuie corectat cu amestecul brut B cu 40,5% CaO, 14% SiO_2, 5% Al_2O_3, 2,5% F_2O_3, 3% alți oxizi și 35% pierdere la

Scanned with OKEN Scanner

calcinare, astfel încît să rezulte un amestec brut final cu $S^M = 1{,}0$. Să se determine în ce raport trebuie amestecați cei doi componenți, precum și compoziția procentuală în A și B a amestecului brut final.

Răspuns : $A/B = 1{,}428$; 41,19% A, 58,81% B.

7.7. TIPURI DE INSTALAȚII FOLOSITE LA ARDEREA CLINCHERULUI DE CIMENT PORTLAND

În funcție de modul de preparare a amestecului brut se folosesc — așa cum s-a arătat, două procedee principale de fabricare a cimentului, din care derivă alte două procedee :

— procedeul umed (în cuptor se alimentează o pastă cu 32—40% apă) ;

— procedeul semiumed și semiuscat (amestecul brut se alimentează în cuptor sub formă de granule cu un conținut de 8—12% apă) ;

— procedeul uscat (amestecul brut se alimentează sub formă de pulbere cu 0—2% apă).

Indiferent de tipul procedeului, se tinde spre folosirea unor agregate de ardere moderne, cu productivitate mare (v. fig. 7.35) care

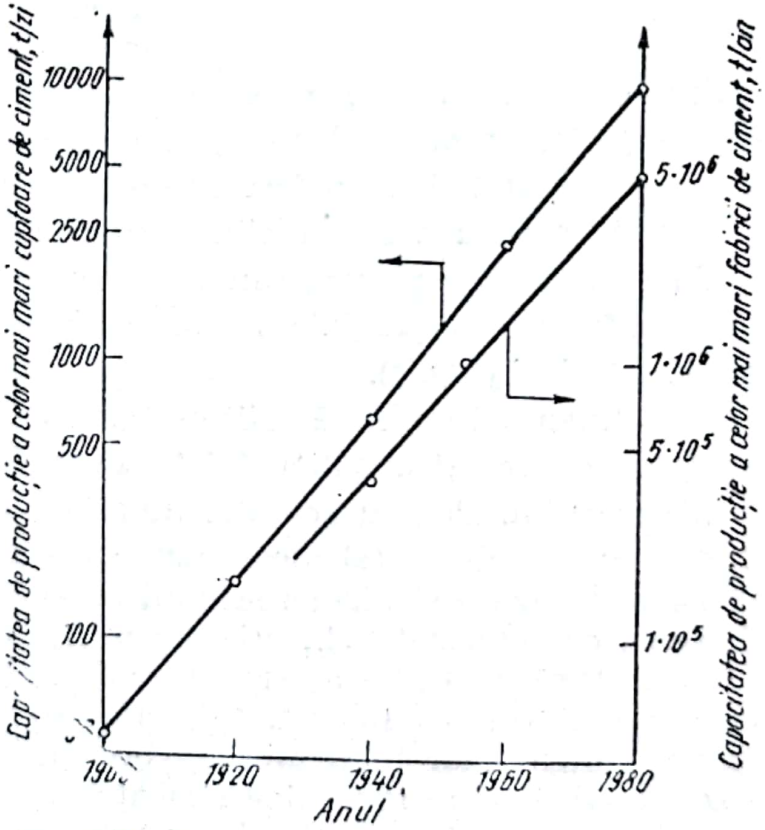


Fig. 7.35. Tendințe de dezvoltare a capacității fabricilor și cuptoarelor de ciment.

Scanned with OKEN Scanner

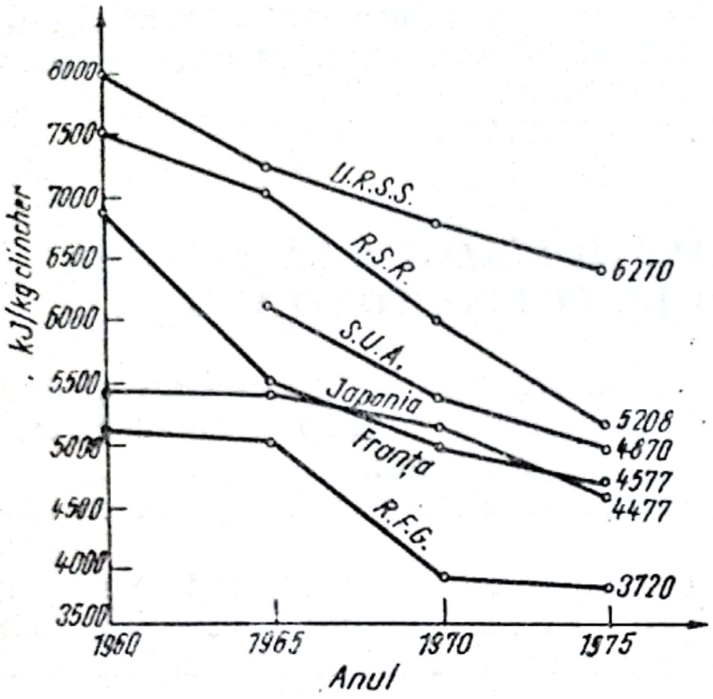


Fig. 7.36. Evoluția consumului specific de căldură mediu anual la producerea clincherului.

să asigure cheltuieli de producție cît mai reduse. Pe plan mondial se constată, de asemenea, o preferință crescîndă pentru fabricarea cimentului după procedeul uscat.

O atenție deosebită în dezvoltarea industriei cimentului s-a acordat reducerii consumului specific de căldură necesară pentru arderea clincherului. Din datele înscrise în diagrama din fig. 7.36 se constată că această problemă a constituit obiectul preocupării tuturor țărilor mari producătoare de ciment, în măsură cu atît mai importantă cu cît rezervele lor proprii de combustibil sînt mai mici. Rezultate bune în acest sens s-au obținut prin orientarea producției de ciment către procedeul uscat, precum și prin eforturile făcute în vederea îmbunătățirii transferului de căldură în cuptoare.

Drept combustibil pentru arderea clincherului de ciment portland, în România se folosește păcură sau gaz metan. În prezent se fac încercări pentru înlocuirea parțială a combustibililor superiori cu combustibili solizi inferiori (lignit).

Obținerea unor cimenturi de bună calitate impune corelarea temperaturii maxime de ardere și a palierului în zona de clincherizare cu compoziția clincherului. Pentru aceasta, lungimea flăcării și amplasarea sa în cuptor trebuie astfel alese încît să asigure desăvîrșirea reacțiilor de clincherizare și formarea unui clincher cu o textură cît mai avantajoasă, caracterizat prin cristale mici, dar bine conturate. O asemenea textură, mai ales a cristalelor de alit, conferă clincherelor o activitate hidraulică mărită. Cercetări experimentale au arătat că, în cazul clincherelor înalt alitice, corespunzătoare cimenturilor care dezvoltă rezistențe mecanice ridicate, acest deziderat se realizează prin utilizarea unei flăcări mai scurte, amplasată în apropierea capătului de evacuare a clincherului, cum și printr-o răcire

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.7

Amplasarea zonei de ardere față de capătul de evacuare a clincherului	Rezistența la compresiune (N/mm²) după:			
	1 zi	3 zile	7 zile	28 zile
Îndepărtată și alungită	19,3	32,7	49,6	58,0
Îndepărtată și scurtă	25,0	38,5	54,0	62,5
Apropiată și alungită	22,6	35,2	51,9	60,4
Apropiată și scurtă	29,5	41,6	55,1	64,0

energică de la temperaturi cît mai apropiate de temperatura maximă de ardere. Datele din tabelul 7.7 evidențiază influența condițiilor de ardere asupra rezistențelor mecanice ale unui ciment portland alitic, toate celelalte condiții rămînînd neschimbate.

Pentru cimenturile caracterizate printr-o cantitate mai mare de fază lichidă, deci mai puțin silicatice și cu modul de alumină mai mic, se recomandă ca fiind mai avantajoasă o zonă de ardere alungită (o ardere mai lentă).

Pentru a realiza o durată de funcționare a căptușelii refractare cît mai lungă, încărcarea termică în zona de clincherizare nu trebuie să depășească 12,5—10^5 kJ/m³·h.

Instalația de ardere a clincherului de ciment portland trebuie să asigure un proces termotehnologic complex. Pentru aceasta, cel mai bine se pretează cuptoarele cu tambur rotativ, în prezent aproximativ 98% din producția de ciment realizîndu-se în astfel de cuptoare.

Primul cuptor rotativ a fost construit în 1885 de către englezul F. Ransome, cu o capacitate de producție de aproximativ 50 t/zi și un consum de căldură de peste 14 500 kJ/kg clincher. Dezvoltarea acestor cuptoare a urmărit scăderea consumului de căldură prin intensificarea schimbului caloric și mărirea capacității lor de producție.

Procesul termotehnologic se poate desfășura într-o instalație compusă din 2 sau 3 agregate termice funcționînd în serie (fig. 7.37). Preîncălzirea și arderea se pot realiza într-un cuptor rotativ lung iar răcirea într-un agregat separat (fig. 7.37, *a*), sau cele trei procese pot avea loc în trei utilaje diferite (fig. 7.37, *b*).

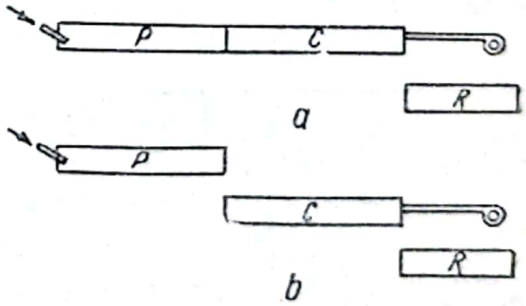


Fig. 7.37. Scheme de împărțire a procesului termotehnologic în etape:

P — uscare+preîncălzire; *C* — încălzire+ardere; *R* — răcire.

Scanned with OKEN Scanner

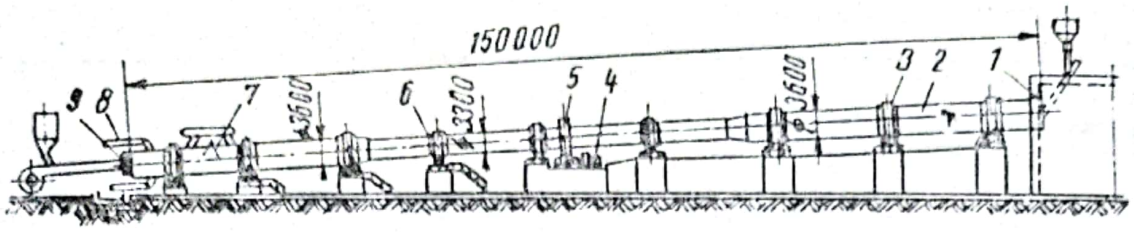


Fig. 7.38. Schema cuptorului rotativ (3, 6/3, 3/3, 6)×150 m:
1 — alimentare cu pastă; *2* — zonă de lanțuri; *3* — inele de rulare; *4* — motor de acționare; *5* — coroană dințată; *6* — role de sprijin; *7* — zona de clincherizare; *8* — răcitoare planetare; *9* — arzător.

În principiu, *cuptorul rotativ* (fig. 7.38) constă dintr-un tambur metalic căptușit cu cărămizi refractare, înclinat cu 3—5% față de orizontală (valorile mai mari corespund la cuptoare cu diametru mai mic) care se rotește cu 1—1,5 rot/min (0,15 m/s viteză periferică). Materialul și gazele de ardere circulă în contracurent, materialul ocupînd 5—10% din volumul util al cuptorului. Tamburul cuptorului este sprijinit pe role (fig. 7.39). Raportul între diametrul inelului de sprijin al cuptorului și cel al rolei are valori cuprinse între 3,5 și 4 (cifrele mai mari corespund cuptoarelor cu diametru mai mare).

Rola de sprijin trebuie să fie cu 40—80 mm mai lată decît inelul de sprijin al tamburului cuptorului. Montarea rolelor se face astfel încît axa lor să fie puțin înclinată față de axa tamburului, pentru a evita alunecarea acestuia spre capătul fierbinte (fig. 7.40). În condiții de funcționare normală, tamburul trebuie să aibe posibilitatea să execute o mișcare de du-te-vino de 40—60 mm în lungul axei sale pentru a realiza o uzură uniformă pe toată lățimea rolei. Aceasta se poate realiza printr-o amplasare corectă a rolelor de sprijin (v. fig. 7.40), care trebuie să imprime tamburului o tendință de de-

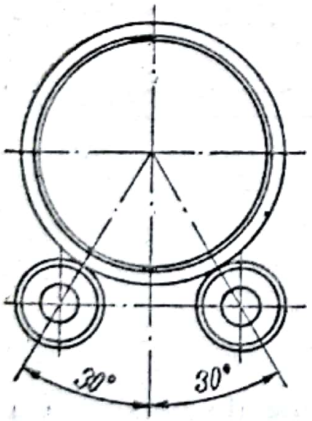


Fig. 7.39. Sprijinirea cuptorului rotativ pe role:

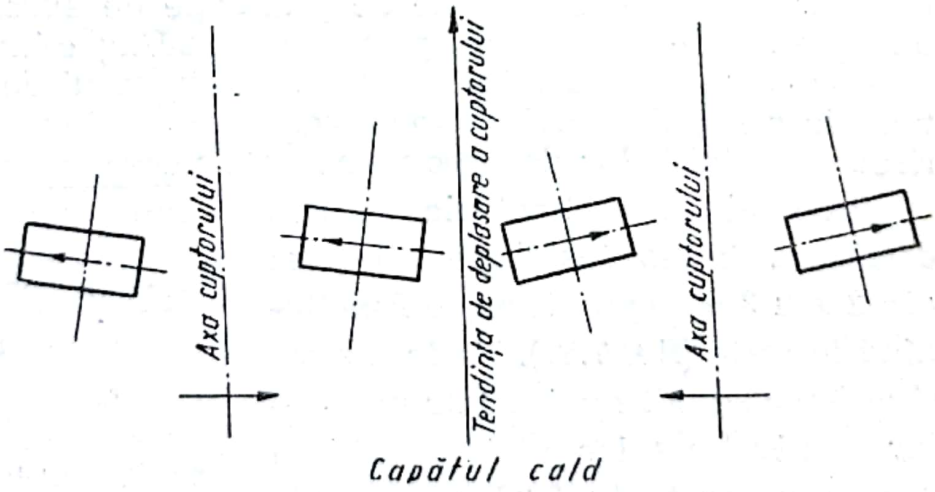


Fig. 7.40. Orientarea corectă a rolelor de sprijin la cuptorul rotativ.

Scanned with OKEN Scanner

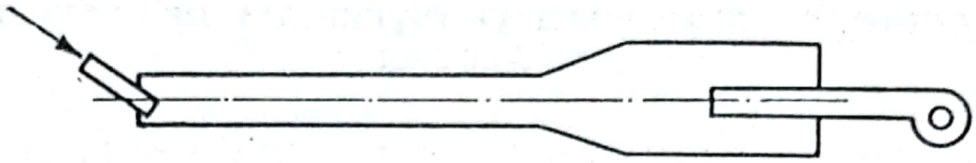


Fig. 7.41. Cuptor rotativ cu zonă de clincherizare lărgită.

plasare spre capătul rece. Ajuns aici, se acționează un picurător care depune cîteva picături de ulei pe suprafața de glisare a rolelor, ceea ce determină alunecarea tamburului spre capătul cald.

Mișcarea de rotație a cuptorului se realizează prin antrenarea, prin intermediul unui motor electric și a unui reductor, a unei coroane dințate montate pe tambur.

În cuptorul rotativ simplu, schimbul de căldură este deosebit de intens în domeniul temperaturilor ridicate (peste 900—1 000 °C). În această zonă transferul de căldură se face preponderent prin radiație (85—95%) și în mai mică măsură prin convecție de la gazele fierbinți la material și prin conducție de la perete la material. Întrucît radiația gazelor depinde, pe lîngă temperatura lor, de grosimea păturii de gaz, pentru intensificarea transmiterii căldurii prin radiație, se construiesc cuptoare cu zona de clincherizare lărgită (fig. 7.41).

În zona de temperaturi mai scăzute a cuptorului rotativ (sub 600—800 °C) transmisia de căldură prin radiație scade foarte mult, în schimb capătă importanță schimbul de căldură prin convecție. Căldura transmisă prin convecție depinde de :

— viteza gazelor ;

— diferența de temperatură dintre gaze și material ;

— suprafața de contact gaze-material.

Viteza gazelor la ieșirea din cuptor este limitată la 5—6 m/s pentru a menține în limite rezonabile antrenarea particulelor fine de material în curentul de gaz.

Diferența de temperatură dintre gaze și material nu poate depăși, de asemenea, anumite valori, pentru a nu mări pierderile de căldură prin gazele calde evacuate din cuptor.

Singura cale judicioasă pentru intensificarea schimbului de căldură în această zonă a cuptorului rămîne deci, *mărirea suprafeței de contact gaz-material*. Acest deziderat se realizează prin următoarele două căi constructive :

— montarea unor dispozitive interioare de recuperare a căldurii (lanțuri, schimbătoare de căldură celulare) ;

— amplasarea înaintea cuptorului rotativ a unor schimbătoare de căldură exterioare (concentrator, grătar de calcinare, cicloane etc.).

Scanned with OKEN Scanner

7.7.1. CUPTOARE CU DISPOZITIVE INTERIOARE DE RECUPERARE A CĂLDURII

Caracteristic pentru cuptoarele cu dispozitive interioare de recuperarea căldurii este raportul mare între lungime și diametrul interior ($L/D_i = 30—45$), motiv pentru care ele sînt denumite și *cuptoare rotative lungi*.

În fig. 7.42 se reprezintă *zona cu lanțuri* a unui cuptor rotativ lung funcționînd după procedeul umed. Perdeaua de lanțuri începe la distanța de (1—1,5) D de la capătul cuptorului, pentru a se evita revărsarea pastei. De multe ori, cuptorul rămîne necăptușit pe această distanță. Zona de lanțuri se împarte în mod convențional în trei părți : În porțiunea A, avînd lungimea l_2, pasta rămîne fluidă și aderă la lanțurile, care în această porțiune sînt montate cu un capăt liber. Schimbul de căldură prin contact direct între lanțurile încălzite de gaze și pastă este deosebit de important. În porțiunea următoare B, pasta devine lipicioasă și are tendința de a forma inele pe peretele cuptorului. În această zonă, lanțurile sînt mai grele, se montează în ghirlandă și trebuie să asigure distrugerea inelelor de pastă, cum și înaintarea materialului în cuptor. În ultima porțiune a zonei de lanțuri C, umiditatea pastei este redusă (sub 18%) și materialul se granulează în urma rotirii cuptorului, lanțurile fiind montate cu un capăt liber pentru a ajuta la granulare.

Pentru a menține un schimb de căldură intens, zona de lanțuri poate fi urmată de o zonă celulară (fig. 7.43).

Temperatura gazelor la intrarea în zona de lanțuri, în cazul procedeului umed, se limitează la aproximativ 800 °C. În cazul procedeului uscat, această temperatură poate ajunge la 1 100 °C, ceea ce impune ca lanțurile să se execute din oțel refractar.

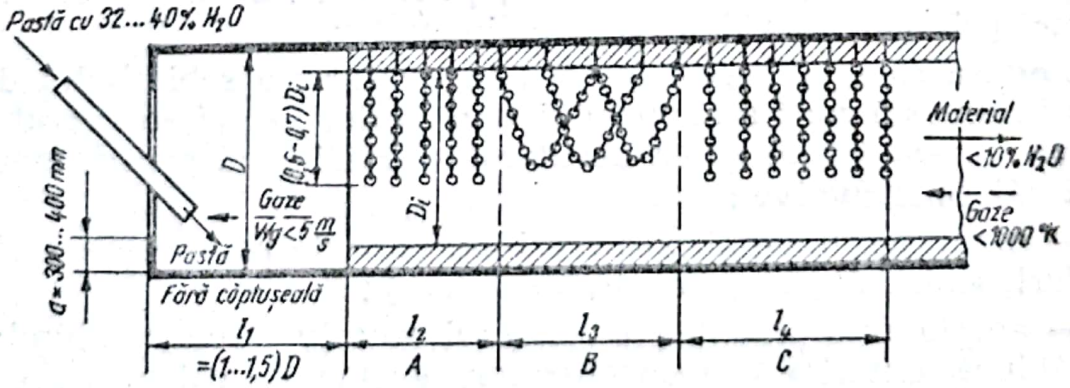


Fig. 7.42. Schema zonei de lanțuri a unui cuptor rotativ.

Scanned with OKEN Scanner

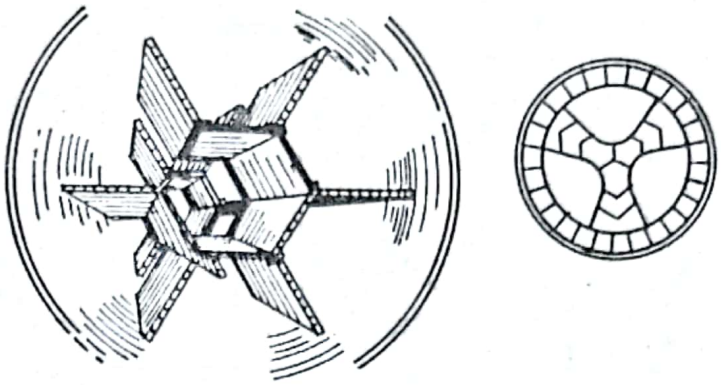


Fig. 7.43. Schimbătoare de căldură celulare.

În dezvoltarea acestor cuptoare s-a ajuns azi la dimensiuni de ∅ 7,6/6,4/6,9 m cu o lungime de 232 m ; productivitatea unor asemenea agregate este de 3 800 t/zi la un consum de căldură de aproximativ 5 500 kJ/kg clincher.

7.7.2. CUPTOARE CU SCHIMBĂTOARE DE CĂLDURĂ EXTERIOARE

Echiparea cuptoarelor rotative cu schimbătoare de căldură exterioare a permis reducerea lungimii tamburului, ajungîndu-se la raporte $L/D_t = 12 \ldots 22$, caracteristice *cuptoarelor rotative scurte.*

O îmbunătățire a transferului termic la temperaturi joase se poate realiza prin montarea înaintea cuptorului rotativ, a unui *concentrator* (fig. 7.44). Acesta constă, în principiu, dintr-un tambur construit din bare așezate la mică distanță între ele, umplut în proporție de aproximativ 60% din volumul util cu corpuri metalice. Din motive constructive, productivitatea acestor schimbătoare de căldură este limitată la 600—800 t/zi.

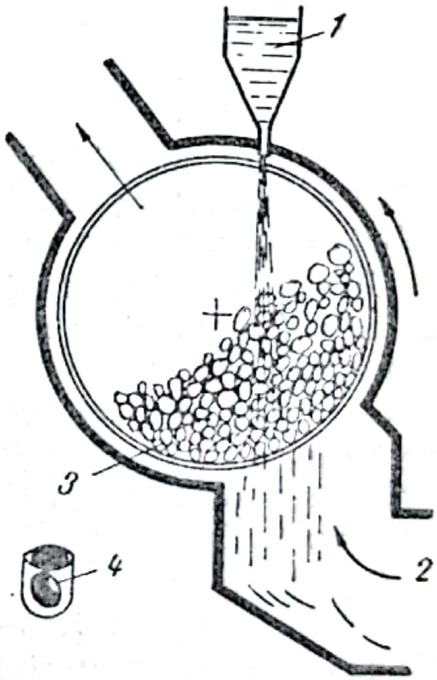


Fig. 7.44. Concentrator :
1 — pastă de amestec brut; 2 — gaze calde din cuptorul rotativ; 3 — corpuri de umplutură; 4 — inele Rashig.

Cuptorul Lepol, utilizat pentru arderea amestecului brut sub formă de granule (procedeul semiuscat sau semiumed), constă în principiu, dintr-un cuptor rotativ scurt, în fața căruia se montează un grătar de calcinare mobil (fig. 7.45). Granulele care se alimentează în cuptor trebuie să aibă dimensiuni de 6—20 mm și umiditate de aproximativ 12%.

Scanned with OKEN Scanner

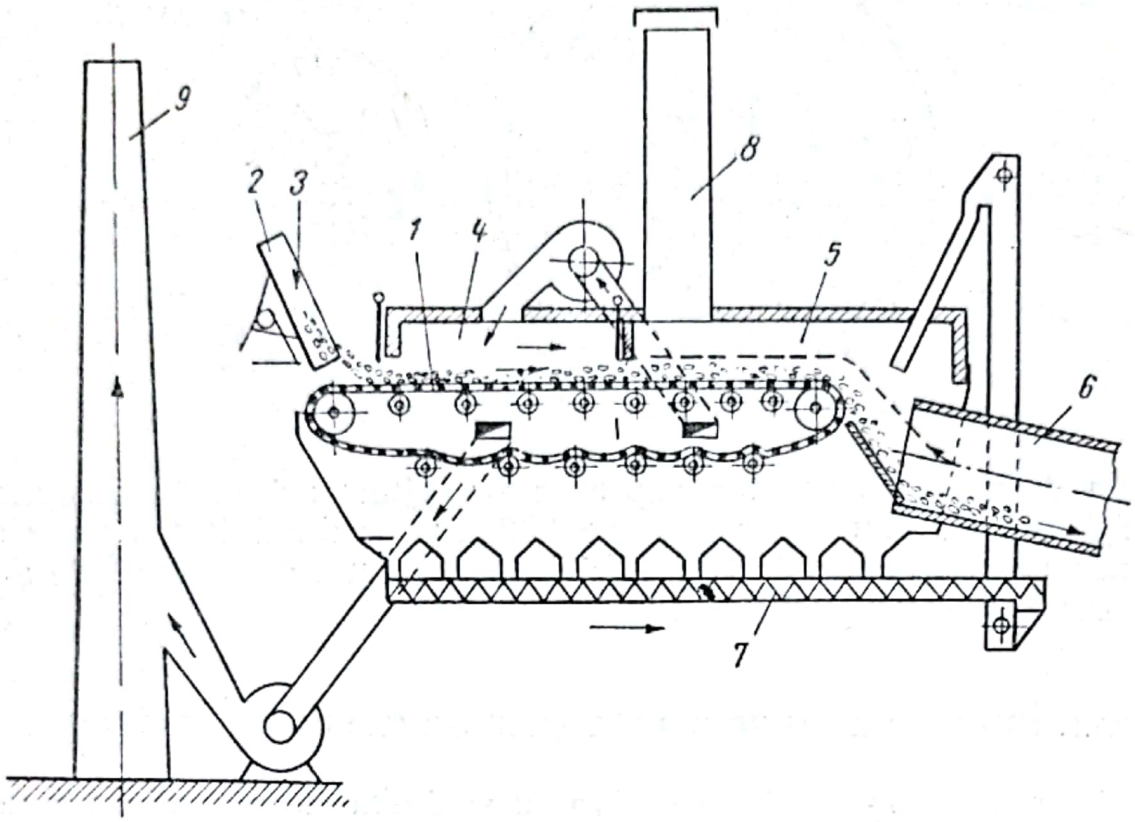


Fig. 7.45. Grătar Lepol cu recircularea gazelor fierbinți :
1 — grătar de calcinare; *2* — granulator; *3* — alimentare cu făină brută; *4* — cameră de uscare; *5* — cameră de preîncălzire; *6* — cuptor roatativ; *7* — transportor de evacuare a materialului căzut printre plăcile grătarului; *8* — coș auxiliar; *9* — coș principal.

Consumul de căldură al acestui cuptor este destul de convenabil (3 500—4 000 kJ/kg clincher) însă, pentru a fi utilizat, materiile prime trebuie să prezinte o bună aptitudine la granulare.

Un inconvenient major al cuptoarelor Lepol îl constituie uzura accentuată a părților mobile ale grătarului de calcinare, în contact cu materialul.

Cuptoarele cu schimbătoare de căldură cu materialul în suspensie de gaz sau în strat fluidizat asigură un transfer de căldură prin convecție mult intensificat, datorită suprafeței de contact gaze-material mult mai mari decît în cazul celorlalte tipuri de instalații.

Diferitele sisteme de schimbătoare de căldură cu material în suspensie de gaz (fig. 7.46—7.50) constau, în principiu, din baterii de cicloane pe care materialul și gazele fierbinți (care ies din cuptorul rotativ cu temperaturi în jur de 1 000 °C) le străbat în sens contrar. Temperatura gazelor la ieșirea din aceste cicloane schimbătoare de căldură este de 250—300 °C.

Scanned with OKEN Scanner

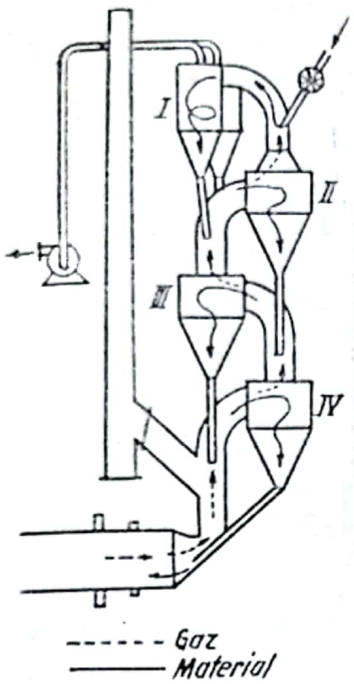


Fig. 7.46. Schimbător de căldură tip Humboldt :
— — — circulația gazului; ——— circulația materialului.

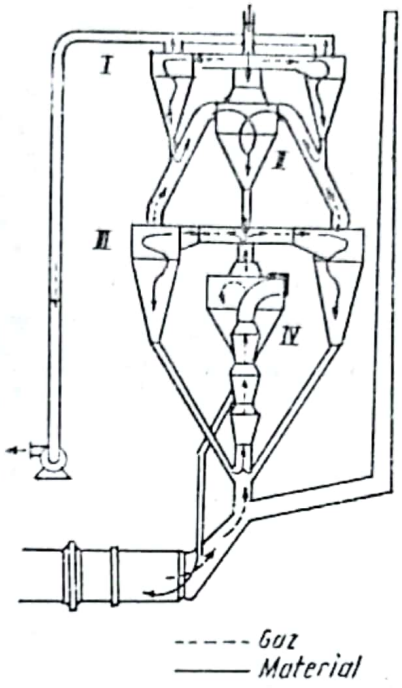


Fig. 7 47. Schimbător de căldură tip Wedag :
— — — circulația gazului; ——— circulația materialului.

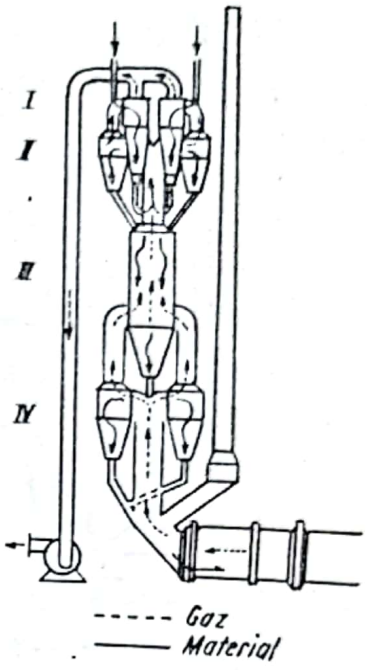


Fig. 7.48. Schimbător de căldură tip Polysius :
— — — circulația gazelor; ——— circulația materialului.

Față de alte sisteme de ardere, cuptoarele echipate cu schimbătoare de căldură pentru făină prezintă avantaje importante :

— consum de căldură redus ;

— posibilitatea instalării unor capacități de producție mari (pentru același cuptor rotativ se pot monta două turnuri de cicloane schimbătoare de căldură) ;

— ocuparea, pentru aceeași capacitate de producție, a unei suprafețe construite mai mici decît la alte sisteme de ardere ;

— lipsa unor piese metalice în mișcare, în contact cu materialul ;

— funcționare sigură.

Aceste avantaje explică ponderea pe care cuptoarele cu schimbătoare de căldură cu materialul în suspensie de gaz o au în totalul agregatelor de ardere nou instalate în ultimii ani.

Un neajuns al acestor cuptoare îl constituie sensibilitatea lor mare față de amestecuri brute cu conținut mai ridicat de substanțe volatile (în special alcalii, SO_3 și Cl^-). Aceste substanțe se volatilizează la temperaturi în jur de 1 000—1 200 °C, sînt preluate de gazele de ardere (care circulă în sens invers direcției de mișcare a materialului) și readuse în zonele mai reci ale instalației, unde con-

Scanned with OKEN Scanner

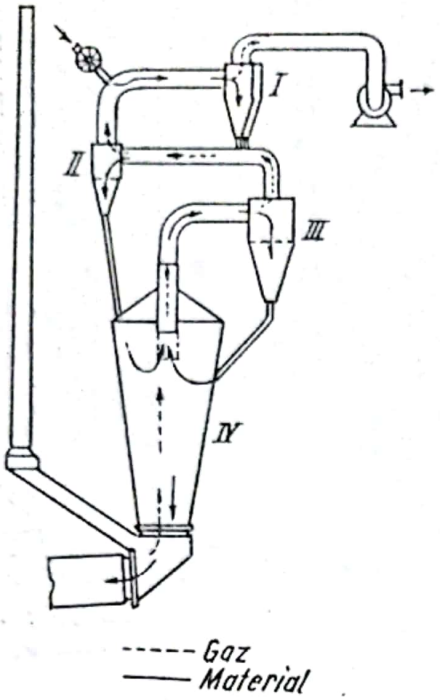


Fig. 7.49. Schimbător de căldură tip Miag :
— — — circulația gazelor;
—— circulația materialului.

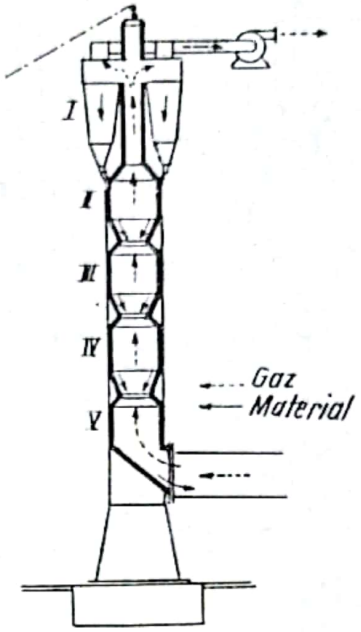


Fig. 7.50. Schimbător de căldură tip Krupp :
— — — circulația gazului; —— circulația materialului.

densează pe materialul supus arderii, ajung din nou în zonele de temperaturi mai ridicate și se volatilizează iar. În acest mod, între cuptorul și schimbătorul de căldură ia naștere un circuit al substanțelor volatile, care poate fi reprezentat schematic prin imaginea din fig. 7.51. Aceasta duce la acumularea lor în instalație, cu consecințe negative asupra proprietăților de curgere ale materialului supus arderii și deci asupra funcționării schimbătorului de căldură. Condensarea substanțelor volatile are loc în zona corespunzătoare unor temperaturi de 700—800 °C, temperaturi la care ele se află — parțial sau total, în stare topită, ceea ce determină aglomerarea făinii brute și formarea unor lipituri și inele. Dacă nu se iau măsuri corespunzătoare, acestea pot duce la obturarea parțială sau aproape totală a căilor de trecere a materialului și pot impune oprirea instalației de ardere pentru îndepărtarea acestor lipituri prin diferite metode (mecanice, pneumatice sau combinate). Zonele cele mai periculoase din acest punct de vedere sînt ultima treaptă a schimbătorului de căldură și zona de intrare a materialului în cuptorul rotativ.

Asemenea dificultăți pot fi evitate printr-o alegere judicioasă a materiilor prime sau, în cazul unor materii prime date, prin montarea unui beipas. Acesta preia o parte din gazele arse, încărcate cu

Scanned with OKEN Scanner

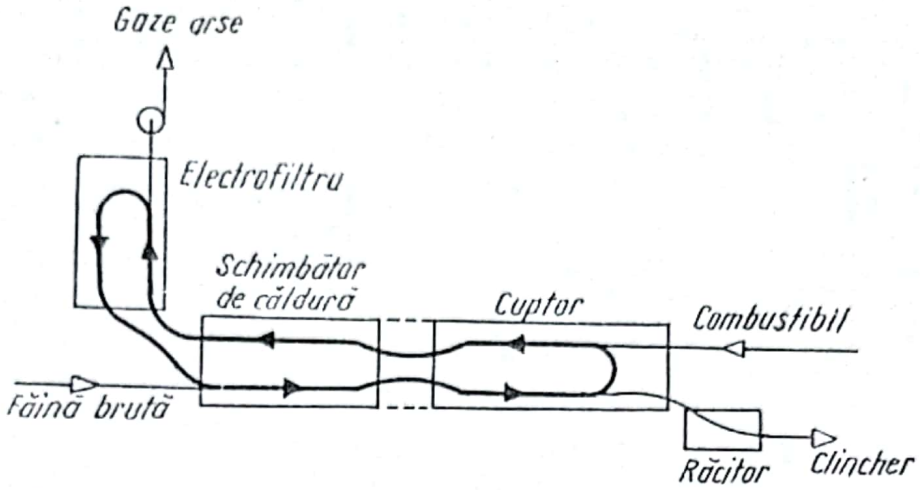


Fig. 7.51. Circuitul substanțelor volatile în cuptorul rotativ de ciment.

substanțe volatile și le elimină din instalație, diminuînd astfel circuitul substanțelor volatile. Această ultimă soluție atrage după sine o oarecare creștere a costului. Conform datelor din literatura de specialitate, montarea unui beipas este justificată atunci cînd, în mod sistematic, cantitatea de alcalii introduse în cuptor depășește 20 g/kg clincher, iar cea de clor — 0,2 g/kg clincher.

Neajunsurile determinate în funcționarea agregatelor de ardere de prezența în amestecul brut a unor cantități nu prea mari de substanțe volatile, pot fi reduse în măsură importantă printr-o respectare riguroasă a prescripțiilor tehnologice privind :

— uniformitatea compozițională și granulometrică a amestecului brut ;

— asigurarea unui debit constant de alimentare ;

— conducerea corectă a proceselor de ardere ;

— îndepărtarea periodică a primelor aglomerări de material din zonele critice (treapta a IV-a a schimbătorului de căldură și jgheabul de intrare a materialului în cuptor).

Tendința de creștere a capacității de producție ale instalațiilor de clincherizare a condus la realizarea unor cuptoare cu diametre de peste 5 m, a căror exploatare a scos în evidență stabilitatea redusă a zidăriei refractare din zona de ardere. Aceasta influențează negativ durata de funcționare anuală și împiedică valorificarea deplină a eficienței economice potențiale caracteristică unor asemenea instalații mari.

Pentru eliminarea acestui neajuns, în ultimii ani s-au realizat agregate de ardere în care procesul de decarbonatare este deplasat aproape total (80—95%) în afara cuptorului rotativ. Prin aceasta se realizează creșterea productivității specifice, pentru aceleași dimen-

Scanned with OKEN Scanner

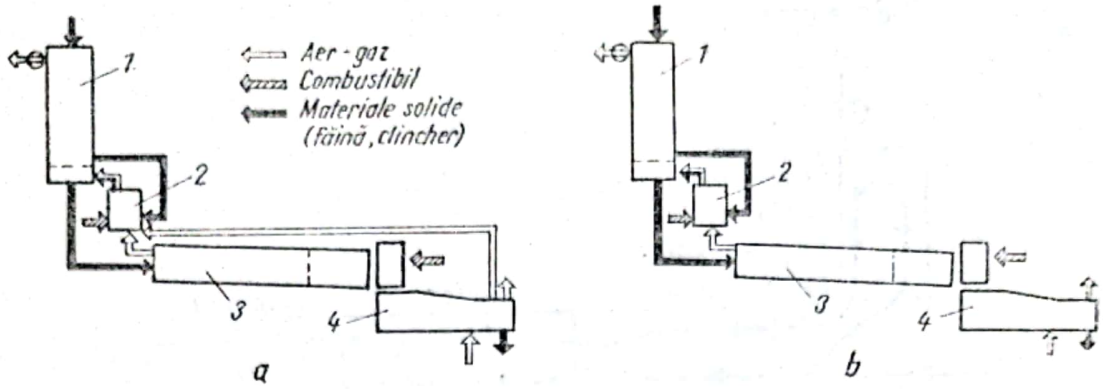


Fig. 7.52. Instalații de ardere cu precalcinator :
a — aerul necesar combustiei se aduce prin exterior; *b* — aerul de combustie se aduce prin tubul cuptorului; *1* — schimbător de căldură; *2* — calcinator; *3* — cuptor rotativ; *4* — răcitor grătar.

siuni ale cuptorului rotativ, sau posibilitatea reducerii dimensiunilor cuptorului, capacitatea de producție rămînînd aceeași. Decarbonatarea se realizează într-un *calcinator intercalat între preîncălzitor și cuptorul rotativ* și prevăzut cu arzătoare proprii.

Se știe că pentru decarbonatarea calcarului se consumă o cantitate mare de căldură, astfel încît pînă la 60% din combustibilul necesar arderii se poate alimenta prin arzătoarele alimentate în calcinator. Aerul necesar combustiei se preia din răcitor și se poate aduce la calcinator printr-o conductă exterioară (fig. 7.52, *a*) sau prin tubul cuptorului rotativ (fig. 7.52, *b*).

Informațiile existente privind funcționarea unor asemenea instalații menționează posibilitatea obținerii unor avantaje importante :

— creșterea productivității de 2—2,5 ori pentru aceleași dimensiuni ale cuptorului sau chiar la dimensiuni mai mici ;

— micșorarea pierderilor de căldură în exterior (aceleași pierderi se repartizează la o producție de ciment mai mare) ;

— protejarea căptușelii refractare din zona de clincherizare datorită unei încărcări termice mai mici ;

— funcționarea mai uniformă a agregatului de ardere ;

— posibilitatea utilizării, pentru alimentarea arzătoarelor din calcinator, a unui combustibil cu putere calorifică mai mică, deci economisirea unor combustibili superiori.

În România s-a conceput și realizat la scară industrială, echiparea unor instalații de ardere existente cu o a doua sursă de combustibil. Pentru aceasta, în conducta ascendentă de gaze dintre cuptorul rotativ și schimbătorul de căldură tip ciclon se montează o instalație de ardere cu gaz metan. Ea se compune din 6 arzătoare amplasate echidistant, în plan orizontal, la 1,5 m deasupra conductei de intrare

Scanned with OKEN Scanner

a făinii de la treapta a III-a a schimbătorului de căldură în conducta ascendentă de ieșire a gazelor din cuptor (fig. 7.53). Prin această amplasare s-a urmărit ca dezvoltarea flăcării să se facă în norul de făină, astfel încît să se evite încălzirea zidăriei la temperaturi care ar putea determina distrugerea ei, sau ar produce lipiri ale materialului de pereți.

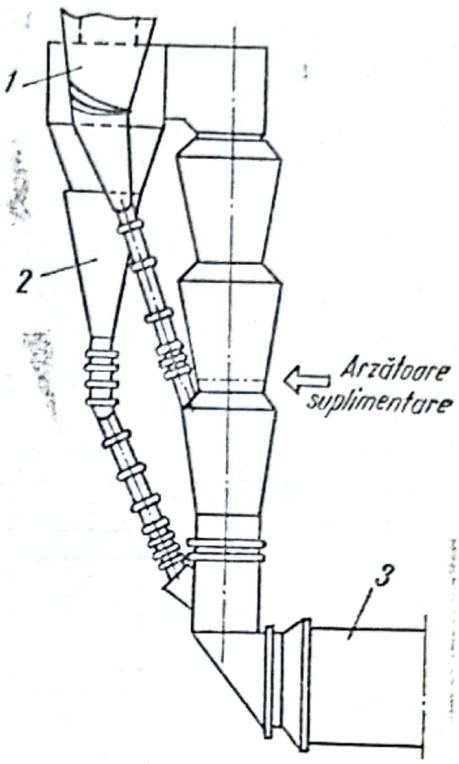
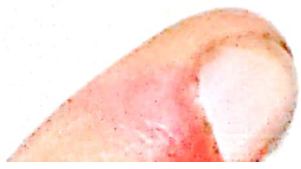


Fig. 7.53. Amplasarea arzătoarelor în conducta ascendentă, la ieșirea gazelor din cuptorul rotativ :
1 — ciclon treapta a III-a;
2 — ciclon treapta a IV-a;
3 — cuptor rotativ.

Pentru asigurarea aerului necesar combustiei, la cea de-a doua sursă de combustibil, s-a adoptat soluția de transport a acestuia prin interiorul cuptorului ; în consecință, temperatura flăcării în cuptorul rotativ este mai scăzută datorită creșterii coeficientului de exces de aer ; de asemenea, solicitarea termică a zonei de ardere a scăzut cu aproximativ 1/3 (datorită reducerii necesarului de combustibil la arzătorul cuptorului rotativ) și a fost posibilă scurtarea zonei înzidite cu cărămizi bazice, cu aproximativ 18%. Toate acestea au condus la reducerea cheltuielilor pentru întreținerea și înlocuirea zidăriei refractare și la reducerea perioadelor de stagnare aferente acestei întrețineri. Regimul de funcționare a cuptorului rotativ este mai uniform în cazul dublei alimentări cu combustibil, datorită gradului de transformare mai avansat al materialului la intrarea în cuptorul rotativ.

7.7.3. ALTE TIPURI DE CUPTOARE

În cazul procedeului semiuscat de fabricație și mai ales în condițiile utilizării combustibilului solid, arderea amestecului brut se poate realiza în *cuptoare verticale* (fig. 7.54). Combustibilul solid se mărunțește pînă la dimensiuni mai mici de 5 mm, se amestecă în proporție corespunzătoare cu amestecul brut (rezultînd așa-numita „făină neagră"). Acesta se umezește cu 8—14% apă, în funcție de natura materiilor prime și de caracteristicile utilajului de granulare și se granulează. Rezistența mecanică a granulelor rezultate trebuie să fie suficient de mare pentru ca ele să nu se sfărîme la alimentarea lor în cuptor, deoarece pulverizarea lor îngreunează foarte



Scanned with OKEN Scanner

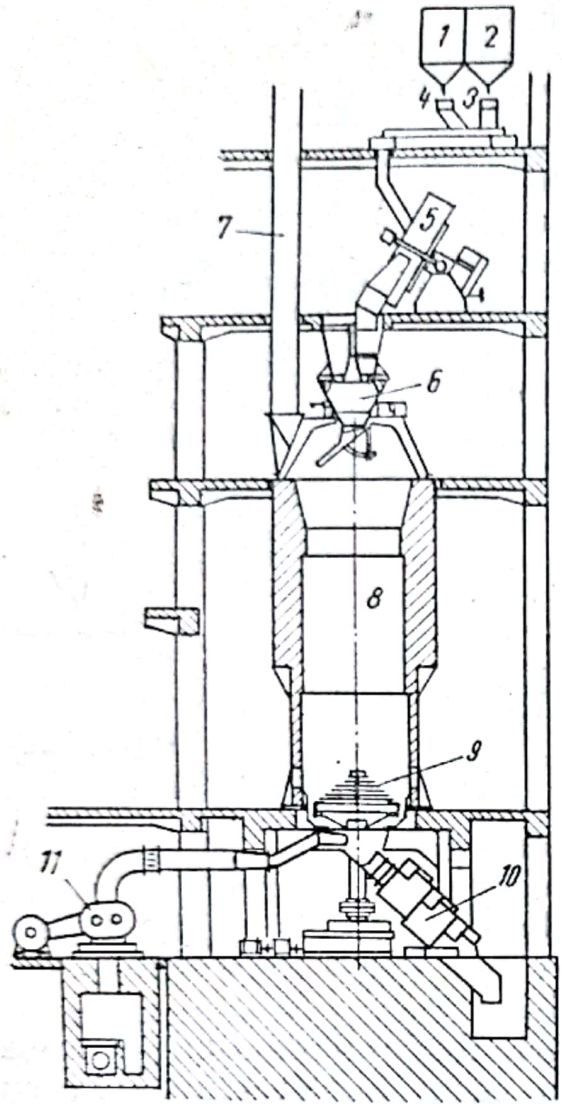


Fig. 7.54. Cuptor vertical pentru arderea clincherului de ciment portland :

1 — siloz pentru făină brută; *2* — siloz pentru combustibil solid; *3* — dozatoare gravimetrice; *4* — amestecător elicoidal cu palete; *5* — farfurie de granulare; pilnie rotativă de alimentare; *7* — coș de fum; *8* — cuva cuptorului; *9* — grătar rotativ pentru evacuarea clincherului; *10* — ecluze pentru evacuarea clincherului; *11* — suflantă pentru introducerea aerului de ardere.

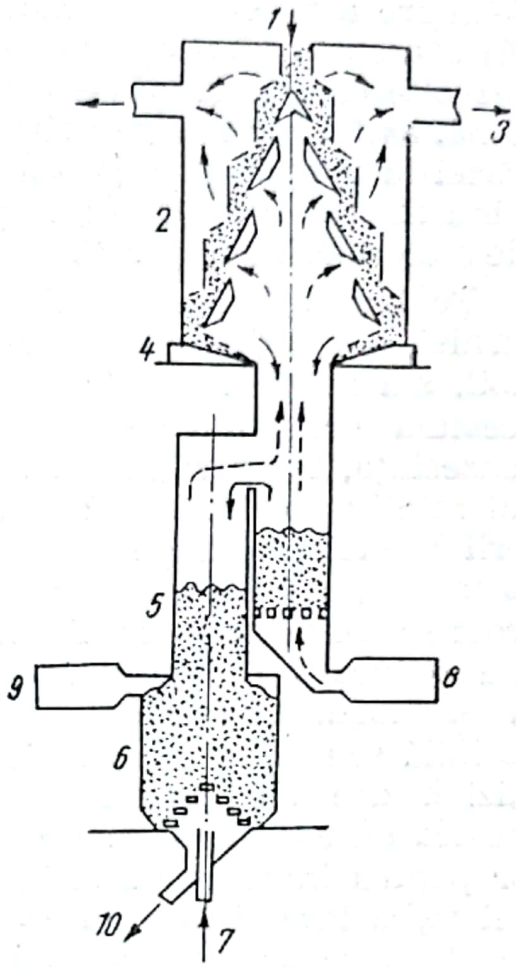


Fig. 7.55. Cuptor pentru obținerea clincherului în strat fluidizat.

mult circulația aerului și a gazelor arse prin cuptor, înrăutățind astfel condițiile de ardere. Aerul necesar arderii se insuflă pe la partea inferioară a cuptorului.

Extragerea clincherului ars se realizează prin diferite sisteme (grătar cu farfurie, grătar cu trepte etc.), iar pătrunderea aerului fals este evitată prin intermediul unor ecluze.

Scanned with OKEN Scanner

Cuptoarele verticale se construesc cu un diametru util de 2—3 m și înălțimea de 8—10 m, productivitatea lor ajungînd la 180—500 t/zi, consumul de căldură fiind de 3 500—5 000 kJ/kg clincher.

Arderea clincherului se poate realiza și în *strat fluidizat,* în instalații de tipul celei prezentate în fig. 7.55.

Amestecul brut granulat *1* este introdus în zona de preîncălzire a cuptorului *2,* formată din două camere în trepte ; gazele ce ies din zona de preîncălzire sînt evacuate în mediul ambiant *3,* după ce au fost desprăfuite. Amestecul brut preîncălzit ajunge în zona de ardere *5* prin intermediul unui dozator *4.* Zona de ardere este compusă din două camere ; în prima cameră are loc clincherizarea, apoi materialul deversează în a doua cameră de ardere, unde se desăvîrșește clincherizarea. Clincherul trece apoi în zona de răcire *6.* Aerul de răcire *7,* încălzit pe seama căldurii clincherului, menține cel de-al doilea strat în stare de fluidizare și asigură arderea combustibilului, injectat direct în stratul fluidizat. Cuptorul are, alături de arzătorul principal *8,* un arzător auxiliar *9,* folosit pentru punerea în funcțiune a instalației. Clincherul răcit este evacuat din cuptor prin conducta *10.*

Consumul specific de căldură a unui asemenea tip de cuptor este de aproximativ 3 500 kJ/kg clincher, încărcarea termică a zonei de clincherizare fiind de 62×10^6 kJ/m^3·h (de 20—40 ori mai mare decît în aceeași zonă a cuptoarelor rotative).

7.7.4. RĂCIREA CLINCHERULUI

Răcirea clincherului se face la început cu viteză mică în cuptor (aproximativ 20 °C/min) și în continuare în diferite sisteme de răcitoare — tambur, planetare, răcitoare cu grătar etc. La fixarea regimului de răcire trebuie să se țină seama de caracteristicile compoziționale ale clincherului, pentru a avantaja formarea alitului, așa cum s-a arătat. În cazul clincherelor cu conținut mai ridicat de alcalii se recomandă răcirea bruscă de la temperaturi mai ridicate.

Temperatura pînă la care răcirea clincherului se face în cuptor depinde de sistemul de răcire adoptat ; la răcitorul cu grătar de ex., clincherul iese din cuptorul rotativ cu circa 1 350 °C și se răcește în continuare cu o viteză de 50—150°/min ; la răcitorul planetar, clincherul se răcește în cuptor pînă la 1 000—1 200 °C cu viteză mică și numai după aceasta cu viteză mare în răcitor. În fig. 7.56—7.59 sînt prezentate cîteva tipuri de răcitoare.

Pentru îmbunătățirea condițiilor de răcire în *răcitoarele tambur,* acestea au fost prevăzute în interior cu dispozitive pentru ridicarea clincherului ; totuși, mai ales la capacități de producție mai mari,

Scanned with OKEN Scanner

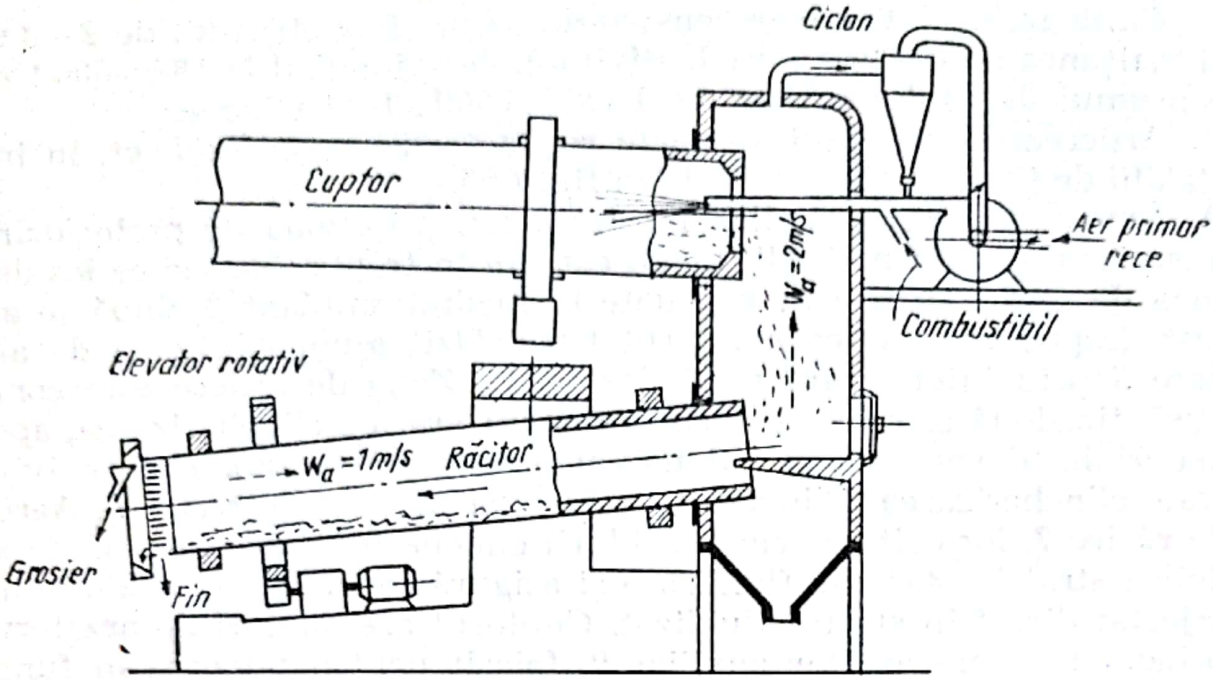


Fig. 7.56. Răcitor tambur.

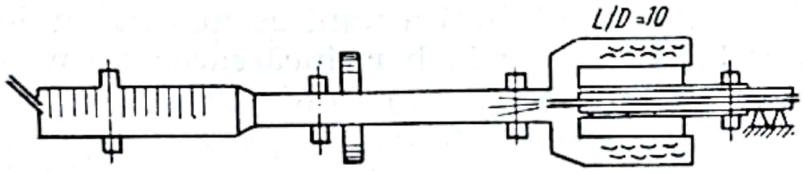


Fig. 7.57. Răcitor planetar cu aceeași direcție de deplasare a materialului ca în cuptor.

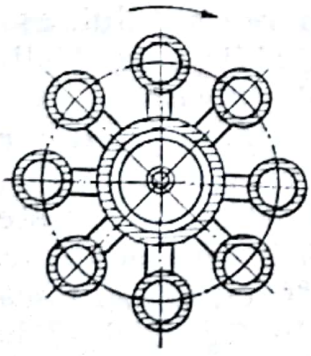


Fig. 7.58. Răcitor planetar. Secțiune transversală.

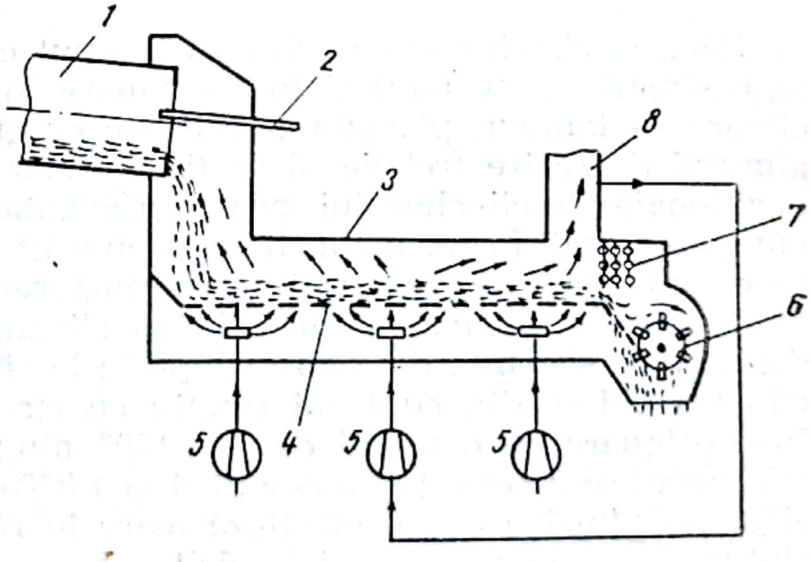


Fig. 7.59. Răcitor grătar :

1 — cuptor rotativ; *2* — arzător; *3* — carcasa răcitorului; *4* — grătar din plăci perforate; *5* — ventilatoare; *6* — concasor cu ciocane; *7* — perdea de lanțuri; *8* — coș auxiliar.

Scanned with OKEN Scanner

temperatura clincherului după răcitor are valori prea ridicate. Mai eficiente din acest punct de vedere sînt *răcitoarele planetare* care capătă extindere tot mai mare datorită atenuării unor neajunsuri constructive care limitau utilizarea lor la cuptoare de pînă la 1 000 t/zi. Astfel s-au dezvoltat soluții constructive mai bune pentru îmbinările răcitor-cuptor ; s-a prelungit tubul cuptorului (fig. 7.57) sau tuburile răcitorului s-au orientat în sens invers curgerii materialului în cuptor (fig. 7.58), pentru a putea fi sprijinite la ambele capete de cuptor, raportul lungime/diametru al tuburilor răcitoare s-a mărit pînă la 10, s-a îmbunătățit calitatea oțelurilor și a materialelor refractare folosite la construirea răcitoarelor planetare. În felul acesta a fost posibilă echiparea, cu bune rezultate, a unor cuptoare de mare capacitate (2 000—3 000 t/zi) cu asemenea răcitoare.

Răcitorul grătar (fig. 7.59) prezintă avantajul unei răciri bruște și avansate în condițiile unor cuptoare de mare capacitate, ceea ce permite obținerea unui clincher de bună calitate, cu aptitudine la măcinare mărită, o bună funcționare a instalațiilor de măcinare și posibilitatea realizării unui flux continuu.

Acest tip de răcitor prezintă însă unele neajunsuri determinate de :

— complexitatea sa constructivă ;

— consumul mare de energie necesară pentru deplasarea clincherului ;

— degajarea unei cantități mari de praf (ceea ce impune o desprăfuire suplimentară a aerului de răcire nefolosit ca aer de combustie) ;

— dependența gradului de răcire a clincherului de grosimea stratului de material de pe grătar.

Din cele trei tipuri de răcitoare discutate, răcitorul grătar are cel mai bun randament termic, situat la valori între 65 și 75%. Aceste cifre evidențiază existența unor rezerve virtuale care nu puteau fi însă valorificate pe baza tipurilor de răcitoare cunoscute. S-a proiectat și executat la scară industrială un *răcitor vertical,* în care răcirea clincherului se realizează *în strat fluidizat* (fig. 7.60).

Răcitorul constă dintr-o carcasă verticală, un grătar format din role de oțel și un ventilator pentru insuflarea aerului de răcire. Evacuarea clincherului răcit se face printr-o pîlnie și un sistem de ecluze. Clincherul incandescent cade direct în carcasa căptușită cu cărămizi refractare amplasată sub capătul de evacuare a cuptorului rotativ. Coloana de clincher fluidizat se sprijină pe grătarul cu role și este răcită în contracurent de către aerul insuflat la partea inferioară. Efectul de fluidizare s-a realizat prin îngustarea secțiunii în partea superioară a carcasei. Clincherul răcit cade prin spațiul dintre role.

Scanned with OKEN Scanner

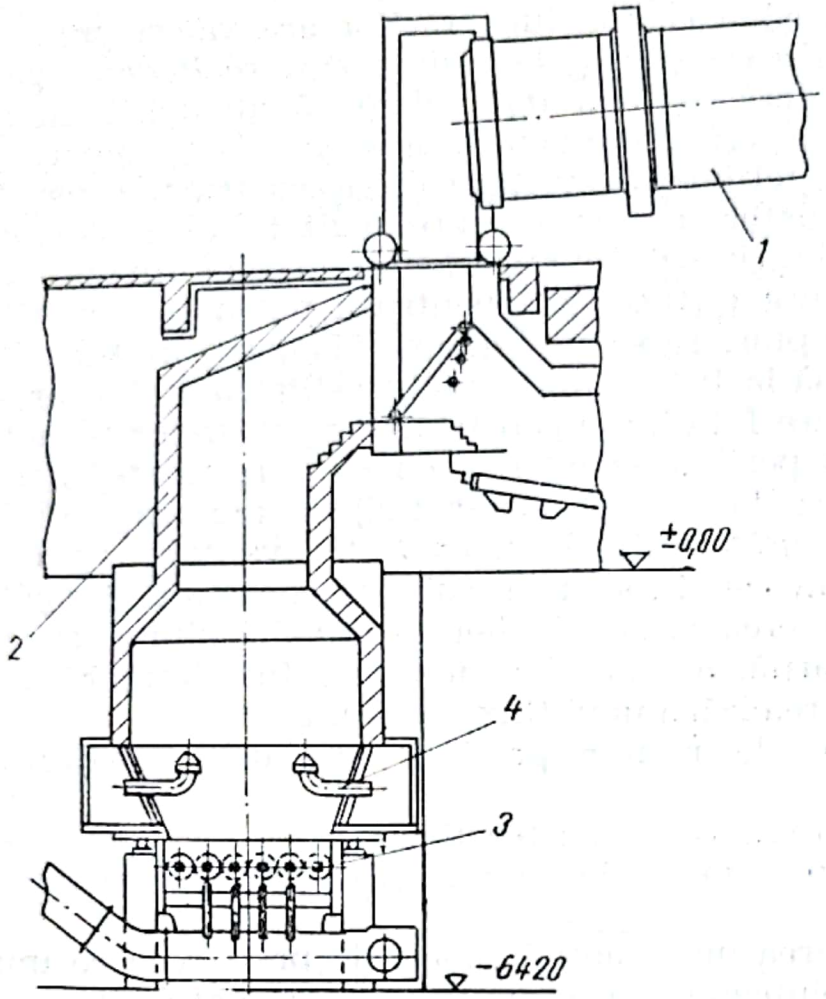


Fig. 7.60. Răcitor de clincher vertical :
1 — cuptor rotativ; *2* — carcasa răcitorului; *3* — grătar din role; *4* — aer de răcire.

Cu un asemenea răcitor, montat la un cuptor de 1 000 t/zi, s-a realizat o încălzire a aerului secundar la 950—970 °C, corespunzător unui randament termic ce a variat (în funcție mai ales de granulometria clincherului) între 78 și 85%. Consumul de energie electrică este comparabil cu cel de la sistemele de răcitoare obișnuite.

Tabelul 7.8

Tipul agregatului de ardere	Capacitatea de producție (t/zi) pentru cuptoare cu diametre de :		
	5 m	6 m	7 m
Cuptor rotativ lung			
— pentru procedeul umed	1 000—1 300	1 700—2 200	3 000—3 500
— pentru procedeul uscat	1 500—2 000	2 500—3 000	4 000—4 500
Cuptor cu schimbător de căldură cu materialul în suspensie de gaz	2 500—2 800	4 000—4 500	5 500—6 000

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.9

Mărimi caracteristice	Cuptoare Lepol				Cuptoare cu schimbătoare de căldură cu materialul în suspensie de gaz			
Lungimea cuptorului, m	53	58	60	65	60	63	70	80
Diametrul cuptorului, m	4,0	4,2	3,8	4,4	3,75	4,2	4,8	5,2
Cantitatea de clincher produsă, t/zi	1 000	1 400	1 020	1 410	610	960	2 326	2 766
Consumul teoretic de căldură, kJ/kg	1 675	1 675	1 675	1 675	1 675	1 675	1 675	1 675
Consumul de căldură pentru evaporarea apei kJ/kg	605	565	480	545	—	—	—	—
Pierderi de căldură cu gazele de ardere, kJ/kg	210	250	250	165	735	545	625	600
Pierderi de căldură în mediul ambiant, kJ/kg	210	290	290	165	330	250	190	180
Pierderi de căldură prin aerul evacuat, kJ/kg	250	250	400	250	505	460	420	330
Căldură pierdută cu clincher și praf, kJ/kg	190	145	210	165	42	84	92	135
Total consum kJ/kg	3 160	3 175	3 315	2 965	3 287	3 014	3 002	2 920

În tabelele 7.8 și 7.9 se prezintă o serie de mărimi caracteristice pentru diferite tipuri de cuptoare de clincher.

7.7.5. CĂPTUȘEALA REFRACTARĂ A CUPTOARELOR DE CLINCHER

Cuptoarele pentru arderea clincherului se căptușesc în întregime cu cărămizi refractare de diferite tipuri, în funcție de zona cuptorului și caracteristicile refractare ale clincherului fabricat. Cheltuielile ocazionate de întreținerea și înlocuirea căptușelii refractare reprezintă aproximativ 2% din costul cimentului portland. Căptușeala refractară are rolul să protejeze tamburul metalic de acțiunea materialului și a gazelor fierbinți și asigură totodată, izolarea cuptorului, datorită conductivității termice relativ mici a cărămizilor refractare. În tabelul 7.10 se indică, pentru diferite zone ale cuptorului rotativ, tipuri de cărămizi refractare utilizabile pentru căptușire și se dau valori orientative pentru durata lor de funcționare.

Principalele caracteristici compoziționale, fizico-mecanice și termice ale diferitelor tipuri de cărămizi refractare sînt precizate în STAS 130-76 ; formele și dimensiunile cărămizilor refractare, cum și nomograme care servesc la determinarea numărului de cărămizi de un anumit fel, necesare pentru realizarea a 1 m^2 de zidărie refrac-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.10

Zona cuptorului (amplasarea zonei):	Răcirea clincherului în cuptor (2m)	Clincherizare (2m→2m+4D)	Decarbonatare (2m+4D→2m+8D)	Preîncălzire uscare (2m+8D→ intrarea făinii brute în cuptor)
Temperatura de lucru în zonă, °C	1 100—1 400	1 300—1 650 (1 800 în zona flăcării)	800—1 200	20—800
Tipuri de cărămizi refractare recomandate pentru înzidire	cromomagnezitice, magnezitice, superaluminoase, șamotă, betoane refractare	cromomagnezitice, dolomitice	dolomitice, cromomagnezitice, superaluminoase	șamotă, refractare ușoare
Durabilitatea căptușelii refractare, ani	1—2	0,5—2	1—3	4—12

Notă: *D* reprezintă diametrul exterior al cuptorului

tară, sînt cuprinse în STAS 131-78; sistemul de marcare a cărămizilor refractare este indicat în STAS 132-78, iar STAS 134-76 precizează caracteristicile mortarelor refractare silico-aluminoase.

Ca urmare a variațiilor de temperatură, a coroziunii chimice și a solicitărilor mecanice la care este supusă, căptușeala refractară se uzează în timp. Consumul de refractare pentru realizarea ei depinde în mare măsură de caracteristicile dimensionale și, îndeosebi, de conducerea termotehnologică a agregatelor de ardere. Uzura căptușelii refractare se datorește în principal unor factori de natură mecanică, chimică și termică, a căror acțiune se suprapune și se intercondiționează.

Uzura mecanică a refractarelor se datorește în primul rînd *efectului ușor abraziv* pe care îl exercită deplasarea materialului în cuptor și care nu poate fi evitat. Din acest punct de vedere, acțiunea clincherului este mai periculoasă decît cea a amestecului brut; pe de altă parte însă, zona de clincherizare este mai protejată față de acest tip de uzură mecanică datorită formării pe suprafața sa a unei lipituri aderente ca rezultat al interacțiunii stratului superficial al refractarului cu topitura de clincher.

Scanned with OKEN Scanner

Cuptorul rotativ este supus unor solicitări mecanice datorită tensiunilor provocate de deformațiile sub propria sa greutate și anume : tendință de ovalizare a secțiunii și deformații longitudinale.

Tendința de ovalizare a secțiunii este accentuată mai ales în zona temperaturilor ridicate ; ea poate fi evitată sau cel puțin păstrată în anumite limite printr-o centrare inițială foarte riguroasă (se admite maximum 0,3%, la cuptoarele cu diametru mare chiar numai 0,2% ovalitate față de diametrul cuptorului) și printr-o rotire continuă a cuptorului (cu viteză mică chiar și în perioadele de oprire pentru reparații). Este ilustrativ faptul că, în urma reducerii ovalității unui cuptor rotativ avînd diametrul de 3,5 m, de la 10—15 mm la mai puțin de 5 mm, consumul specific de refractare din zona de clincherizare s-a redus la 1/3 din consumul anterior.

Deformațiile longitudinale (flambaj) pot fi evitate într-o măsură importantă printr-o amplasare și întreținere corespunzătoare a rolelor de sprijin.

O influență importantă asupra duratei de viață a căptușelii refractare prezintă și *rigiditatea tamburului,* care poate fi definită prin raportul între grosimea tolei h și diametrul cuptorului D. La grosimi prea mici ale tolei, deformațiile tamburului sub acțiunea greutății proprii devin importante, ceea ce accentuează mult uzura căptușelii refractare. Pentru raportul h/D se recomandă valori cuprinse între 0,006 și 0,01.

În general, durabilitatea căptușelii refractare scade cu creșterea diametrului cuptorului. Aceasta se datorește atît solicitărilor mecanice mai mari, dar și accentuării solicitărilor termice. Cu creșterea diametrului cuptorului, conicitatea cărămizilor refractare folosite pentru înzidirea tubului cuptorului devine tot mai mică, prin urmare, stabilitatea proprie a zidăriei se reduce. La aceasta se adaugă faptul că tubul metalic al cuptorului nu este perfect rigid, astfel încît în timpul fiecărei rotații apar, în special în zonele de amplasare a rolelor de sprijin, deformații mai mult sau mai puțin accentuate care provoacă tensiuni în căptușeala refractară, determinînd apariția unor fisuri și deplasări ușoare ale cărămizilor ; în cazuri nefavorabile poate avea loc chiar desprinderea și căderea unor cărămizi (în asemenea situații, pe mantaua cuptorului apar pete incandescente). Aceste tensiuni sînt mai accentuate în zona de clincherizare unde, sub acțiunea temperaturilor ridicate, rigiditatea tubului este mai mică, ceea ce îngreunează formarea unei lipituri protectoare aderente. În tabelul 7.11 se prezintă consumuri specifice de refractare pentru diferite tipuri de cuptoare, funcție de diametrul lor. Creșterea importantă a productivității cuptorului odată cu mărirea diame-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.11

Diametrul cuptorului, m	Consum specific de refractare, kg/t clincher			Funcționare anuală, %
	Cuptor Lepol	Cuptor rotativ lung, procedeu umed	Cuptor rotativ scurt, cu cicloane schimbătoare de căldură	
2,8—3,2	0,7—1,2	0,8—1,2	—	—
3,6—4,0	0,3—0,5	0,5	0,25—0,35	95
4,0—5,0	—	—	0,35—0,50	90
5,5	—	—	0,7	85
5,5—6,0	—	—	0,8—1,2	80

trului explică scăderea consumului specific de refractare la creșterea diametrului de la 2,8—3,2 m la 3,6—4,0 m în cazul cuptoarelor Lepol și rotative lungi după procedeul umed.

Solicitările de natură termică se datoresc temperaturilor ridicate din cuptor, dar mai ales variațiilor periodice în temperatura căptușelii refractare, determinate de rotirea cuptorului, prin care căptușeala vine alternativ în contact cu gazele de ardere care au temperatură mai ridicată și cu materialul supus arderii, care are temperatură mai mică. Aceste diferențe de temperatură variază în lungul cuptorului, după cum rezultă din fig. 7.61. Se constată că, în timpul

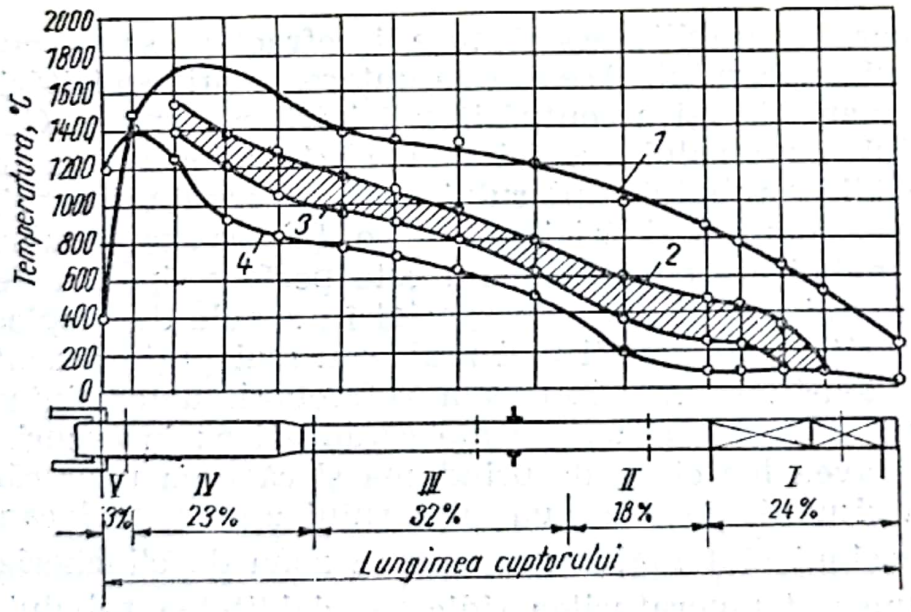


Fig. 7.61. Variația temperaturii căptușelii refractare din cuptorul rotativ:

I — zona de uscare; *II* — zona de preîncălzire; *III* — zona de decarbonatare; *IV* — zona de sinterizare; *V* — zona de răcire; *1* — temperatura gazelor de ardere; *2* — temperatura maximă a peretelui; *3* — temperatura minimă a peretelui; *4* — temperatura materialului supus arderii.

Scanned with OKEN Scanner

unei rotații, temperatura căptușelii refractare variază cu aproximativ 200 °C. Aceste variații de temperatură se propagă în interiorul cărămizilor refractare pe o distanță de 20—25 mm. În zona de clincherizare, temperatura exterioară a mantalei cuptorului este de 350—400 °C, astfel încît gradientul termic din grosimea cărămizii este destul de important. În funcție de coeficientul de dilatație termică a cărămizilor refractare, aceste variații de temperatură pot da naștere la apariția unor tensiuni importante în căptușeala refractară, care pot provoca deteriorarea acesteia. O funcționare neuniformă a cuptorului, opriri și porniri repetate, o alimentare neuniformă cu făină brută, variații în caracteristicile flăcării — toate acestea accentuează variațiile de temperatură din căptușeala refractară și grăbesc deci uzura ei.

Calitatea și orientarea arzătorului prezintă o importanță deosebită pentru durabilitatea căptușelii refractare. Flacăra trebuie astfel orientată încît să nu bată direct în peretele refractar (se recomandă să fie paralelă cu axa cuptorului sau ușor înclinată spre stratul de clincher).

O cale de mărire a duratei de funcționare a căptușelii refractare se preconizează prin reducerea încărcării termice din zona de clincherizare, în urma deplasării practic totale a decarbonatării din cuptorul rotativ în precalcinator. În tabelul 7.12 se dau valori orienta-

Tabelul 7.12

Tipul cuptorului	Productivitatea t/zi	Diametrul cuptorului, m	Creșterea durabilității căptușelii refractare (calculată)
Cuptor rotativ scurt cu cicloane preîncălzitoare	2 000	4,6	1
Cuptor cu precalcinator	2 000	3,7	1,56
Cuptor rotativ scurt cu cicloane preîncălzitoare	4 000	5,8	1
Cuptor cu precalcinator	4 000	4,6	2,68

tive (calculate) pentru creșterea durabilității căptușelii refractare la trecerea de la cuptoare cu cicloane preîncălzitoare obișnuite la cuptoare cu precalcinare.

Interacțiunile de natură fizico-chimică la care este supusă căptușeala refractară se manifestă cu precădere în zona de clincherizare și se datoresc apariției fazei lichide în clincher. Această topitură, destul de fluidă și cu reactivitate mare (datorită conținutului său în CaO), difuzează în interiorul cărămizilor refractare cu care interacționează. Prin aceasta, pe suprafața interioară a căptușelii refractare

Scanned with OKEN Scanner

se formează un strat de lipitură (aprox. 5 mm) foarte aderent. Pe acesta se depun în continuare granule de clincher care se topesc atunci cînd, în timpul rotirii cuptorului, zona respectivă ajunge în contact cu gazele de ardere fierbinți. Prin aceasta se formează, fără participarea în continuare a cărămizii refractare, un strat de protecție. Grosimea acestui strat crește pînă la anumite limite, determinate de echilibrul între forțele de aderență și cele gravitaționale. Grosimea optimă a stratului de protecție în zona de clincherizare este de 0,2 m. Dacă grosimea lipiturii de protecție depășește 0,5 m se produce perturbarea funcționării cuptorului, datorită îngustării importante a secțiunii zonei de clincherizare, urmată de scăderea productivității sale. La desprinderea acestor inele (sub greutate proprie sau prin îndepărtare cu mijloace mecanice) se poate produce ușor deteriorarea căptușelii refractare, fie mecanic, fie datorită șocului termic la care este expusă prin desprinderea stratului protector.

În cuptoarele rotative scurte, acest strat de protecție acoperă aproximativ 25—35% din lungimea tubului, în cuptoarele rotative lungi stratul de protecție se extinde pe aproximativ 10% din lungimea lor.

7.7.6. ÎNZIDIREA CUPTOARELOR DE CLINCHER

În figura 7.62 s-a prezentat schematic modul de înzidire a cărămizilor refractare în zona de clincherizare a unui cuptor rotativ.

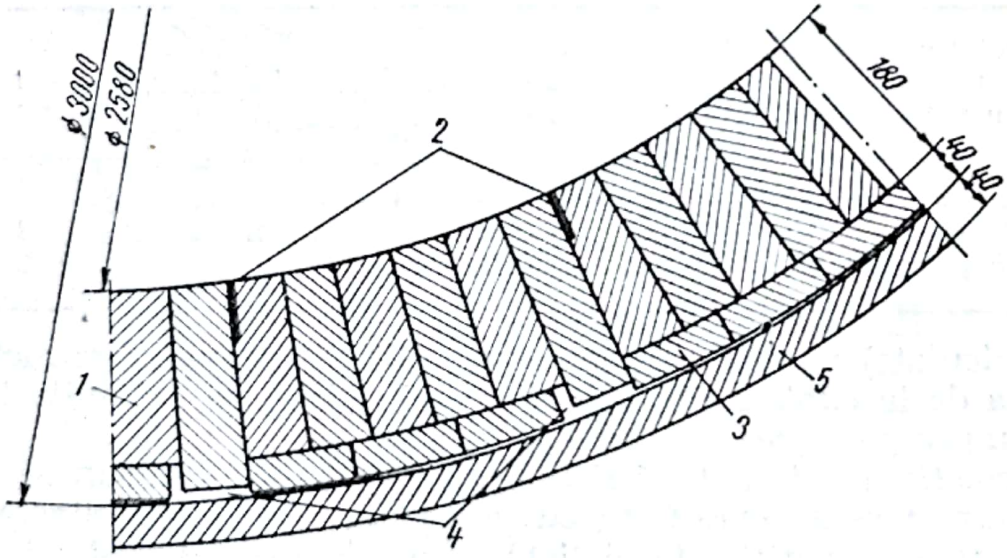


Fig. 7.62. Căptușeala zonei de clincherizare a unui cuptor rotativ cu ∅ 3 m:
1 — cărămizi magnezitice; *2* — carton 50×150×1 mm; *3* — plăci din șamotă; *4* — mortar refractar; *5* — manta metalică.

Scanned with OKEN Scanner

În prezent, înzidirea refractară a cuptoarelor rotative cu diametrul mai mic de 4 m, practic nu mai prezintă probleme deosebite. În cazul cuptoarelor cu diametru mare și foarte mare, calitatea și durabilitatea căptușelii refractare sînt extrem de importante, deoarece orice oprire a cuptorului (pentru înlocuirea sau repararea căptușelii refractare) duce la pierderi de producție important mai mari decît în cazul cuptoarelor mai mici.

Odată cu creșterea dimensiunilor cuptoarelor rotative s-au intensificat preocupările pentru găsirea unor soluții constructive rapide de înlocuire a căptușelilor refractare (diferite formate de cărămizi și blocuri refractare, diferite metode de legare și îmbinare a acestora). În general se tinde azi spre folosirea unor formate mai mari, prevăzute cu nervuri pentru asigurarea unei stabilități mai ridicate a asamblărilor ; pentru montarea și fixarea acestor blocuri se folosesc diferiți lianți refractari cu întărire rapidă. Mecanizarea lucrărilor de evacuare a vechii căptușeli și de montare a noilor blocuri permite, mai ales la cuptoarele mari, reducerea sensibilă a perioadei de stagnare.

În literatura de specialitate se insistă asupra importanței și eficienței unor lucrări de întreținere a căptușelii refractare. Astfel de exemplu, se recomandă ca după o anumită perioadă de funcționare a cuptorului, cînd grosimea blocurilor refractare s-a redus cu aproximativ 50 mm, acestea să fie acoperite cu un mortar refractar (prin torcretare), operație rapidă și ușor de executat prin care se reface grosimea și se prelungește durata de funcționare a căptușelii refractare. Trebuie să existe însă compatibilitate între natura chimică și caracteristicile termice ale căptușelii refractare și cele ale mortarului de acoperire.

7.8. PĂSTRAREA CLINCHERULUI ȘI MĂCINAREA CIMENTULUI

7.8.1. PĂSTRAREA CLINCHERULUI

După răcirea clincherului, acesta este depozitat în hala de clincher. Transportul de la răcitor la hală se face cu jgheaburi oscilante sau transportoare cu plăci. În interiorul halei, manipularea clincherului se face cu ajutorul unui pod rulant cu greifer, care realizează și transportarea acestuia în buncărul de alimentare a morii de ciment. Se manifestă tot mai mult tendința de amplasare a unor dispozitive de extracție și de realizare a transportului clincherului cu benzi transportoare. Dacă temperatura clincherului la

Scanned with OKEN Scanner

ieşirea din răcitor nu depăşeşte 200 °C, păstrarea sa se poate face în silozuri închise, ceea ce oferă posibilitatea unei extracţii mai lesnicioase şi condiţii de protecţia muncii mai bune.

Păstrarea clincherului este impusă în primul rînd de necesitatea răcirii sale, deoarece introducerea în moară a unui clincher fierbinte determină scăderea productivităţii acesteia, o uzură mai pronunţată a corpurilor de măcinare şi a blindajelor morii, este posibilă deshidratarea gipsului adăugat (iar semihidratul care se formează imprimă cimentului „priză falsă") şi, în sfîrşit, cimentul rezultat ar fi foarte fierbinte, ceea ce ar crea dificultăţi la transportul său. Temperatura clincherului alimentat în moară nu trebuie să depăşească 50 °C.

Păstrarea clincherului înainte de măcinare prezintă următoarele avantaje :

— are loc o îmbunătăţire a aptitudinii la măcinare determinată de unele modificări fizico-chimice care se petrec în clincher în timpul depozitării şi care determină afînarea structurii sale ;

— prevenirea inconstanţei de volum a cimentului datorită hidratării CaO nelegat, sub acţiunea umidităţii atmosferice sau a apei cu care se stropeşte clincherul la ieşirea din răcitor.

Nu este indicată prelungirea duratei de depozitare a clincherului peste 2—4 săptămîni, deoarece aceasta conduce la diminuarea importantă a proprietăţilor de rezistenţă mecanică ale cimentului rezultat prin măcinarea unui asemenea clincher.

7.8.2. MĂCINAREA CIMENTULUI

Cimentul este rezultatul măcinării clincherului cu cantităţi mici de ghips (4—6%) care se adaugă obligatoriu pentru reglarea timpului de priză. Pe lîngă gips, la măcinarea clincherului se mai poate adăuga zgură de furnal sau diferite adaosuri inerte (calcar, nisip) sau cu proprietăţi puzzolanice (cenuşă de termocentrală, diatomit) rezultînd diferite sortimente de ciment. Dozarea corectă a acestor adaosuri, dar mai ales a ghipsului, prezintă o deosebită importanţă pentru proprietăţile fizico-mecanice ale cimentului rezultat.

Concasarea clincherului. Productivitatea morilor de ciment este cu atît mai mare şi consumul specific de energie cu atît mai redus, cu cît clincherul alimentat în moară are dimensiuni mai mici. În funcţie de compoziţia clincherului şi de condiţiile de răcire (o cantitate mare de faze feritaluminatice determină o aglomerare mai pronunţată a materialului supus arderii), dimensiunile bulgărilor de clincher pot ajunge destul de mari, motiv pentru care, direct după răcitor se montează concasoare, de regulă cu ciocane sau cu impact.

Scanned with OKEN Scanner

Drept *agregate de măcinare* a cimentului se folosesc mori tubulare cu bile, avînd construcția și principiul de funcționare similare cu cele de la morile pentru măcinarea amestecului brut.

Consumul de energie la măcinarea cimentului este foarte mare datorită randamentului energetic mic al morilor cu bile ; mai puțin de 1% din energia totală consumată este transformată în lucru mecanic util pentru distrugerea forțelor de legătură dintre particulele materialului supus măcinării, restul se pierde prin frecare sau transformare în energie termică. Pentru reducerea acestui consum mare de energie prezintă interes toți factorii care ar putea îmbunătăți productivitatea morii. Aceștia pot fi grupați în :

— parametri constructivi și funcționali ai instalației de măcinare ;

— parametri caracteristici materialului supus măcinării.

Influența parametrilor constructivi și funcționali ai instalației de măcinare asupra randamentului energetic al procesului sînt similari cu cei discutați la măcinarea făinii brute, motiv pentru care nu se mai reiau. O atenție deosebită trebuie acordată totuși *alegerii sistemului de măcinare.*

Măcinarea cimentului se poate face în circuit deschis sau închis. Cimenturile de bună calitate, care asigură dezvoltarea rapidă a rezistențelor mecanice, trebuie să conțină particule sub 30 μm în proporție de cel puțin 70%. Realizarea acestui deziderat în morile cu bile cu mai multe camere, care funcționează în circuit deschis, este legat de un consum mare de energie electrică deoarece particulele fine de material existente în moară înrăutățesc randamentul măcinării. Aceasta se datorește tendinței lor de aglomerare și aderării lor la corpurile de măcinare și blindaje, ceea ce are ca efect amortizarea șocurilor și reducerea frecării, deci reducerea efectului de măcinare. Toate acestea provoacă o încălzire apreciabilă atît a instalației îndeosebi a lagărelor, cît și a cimentului din moară, cu consecințe negative asupra desfășurării procesului de măcinare și asupra calității cimentului rezultat. Temperatura ridicată din moară determină deshidratarea parțială a ghipsului adăugat, iar ipsosul astfel rezultat poate imprima cimentului fenomenul de priză falsă.

În morile care funcționează în circuit închis, materialul evacuat din moară se introduce într-un separator pneumatic (cu disc de împrăștiere) unde are loc separarea și îndepărtarea continuă a particulelor fine, partea grosieră a materialului reintroducîndu-se în moară. Schema unei instalații de măcinare în circuit închis, cu separator pneumatic cu disc de împrăștiere și ventilator principal exterior, este prezentată în fig. 7.63.

Scanned with OKEN Scanner

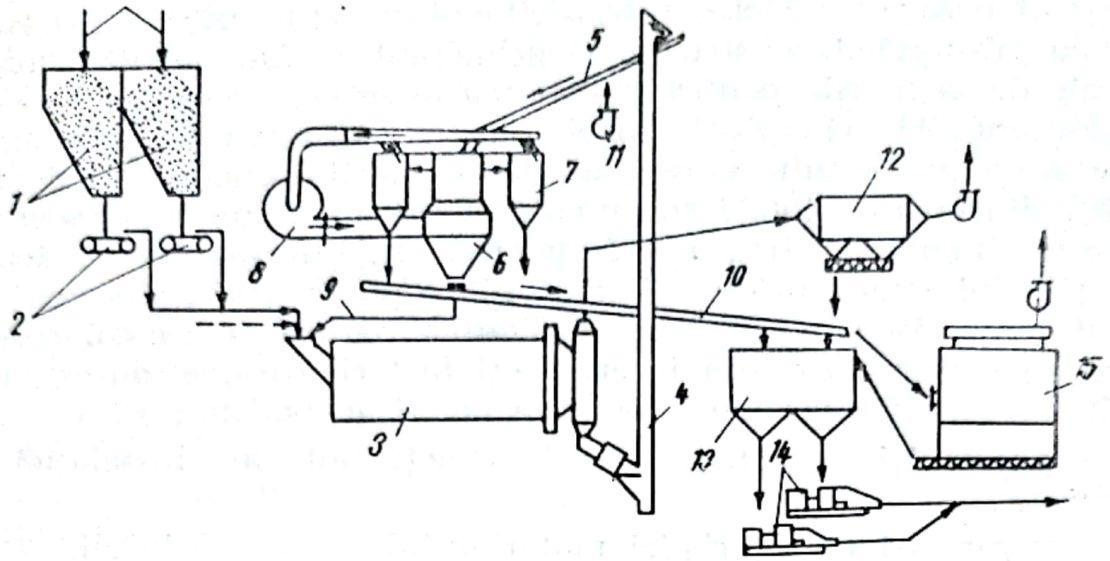


Fig. 7.63. Schema unei instalații de măcinare în circuit închis, cu separator pneumatic cu disc de împrăștiere și ventilator principal exterior :

1 — buncăre pentru clincher și adaosuri; *2* — dozatoare; *3* — moară cu bile; *4* — elevator cu cupe; *5* — rigolă pneumatică; *6* — corpul separatorului; *7* — cicloane; *8* — ventilator; *9* — recircularea fracțiunii grosiere; *10* — rigolă pneumatică; *11* — ventilator pentru rigolă pneumatică; *12* — filtru electrostatic; *13* — buncăre pentru ciment; *14* — pompe Fuller; *15* — filtru cu saci.

În fig. 7.64 se prezintă influența indicelui de recirculație (raportul între debitul de material circulat prin moară și producția morii) asupra productivității morii și asupra lucrului specific al acesteia (suprafața specifică nou creată prin consumarea de 1 kWh).

Pentru un ciment de bună calitate, dimensiunea ochiului sitei pentru care trecerea este de 80%, trebuie considerată 30 μm. În aceste condiții, conform relației lui Bond, pentru dimensiunea corpurilor de măcinare rezultă $d_{bile} = 6$ mm. În morile cu bile care funcționează în circuit deschis nu se pot folosi asemenea corpuri de măcinare deoarece :

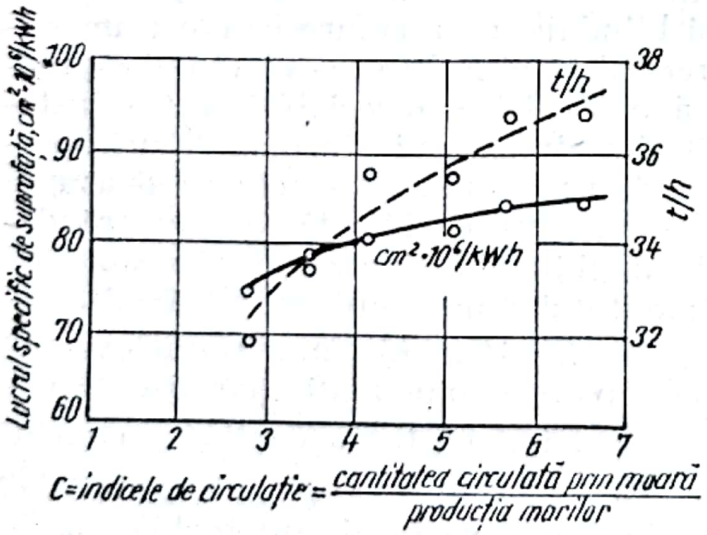


Fig. 7.64. Influența indicelui de recirculație asupra productivității morii și asupra lucrului specific de suprafață.

— fantele de trecere ale pereților despărțitori dintre camere au dimensiuni mai mari și ar permite și trecerea bilelor :

Scanned with OKEN Scanner

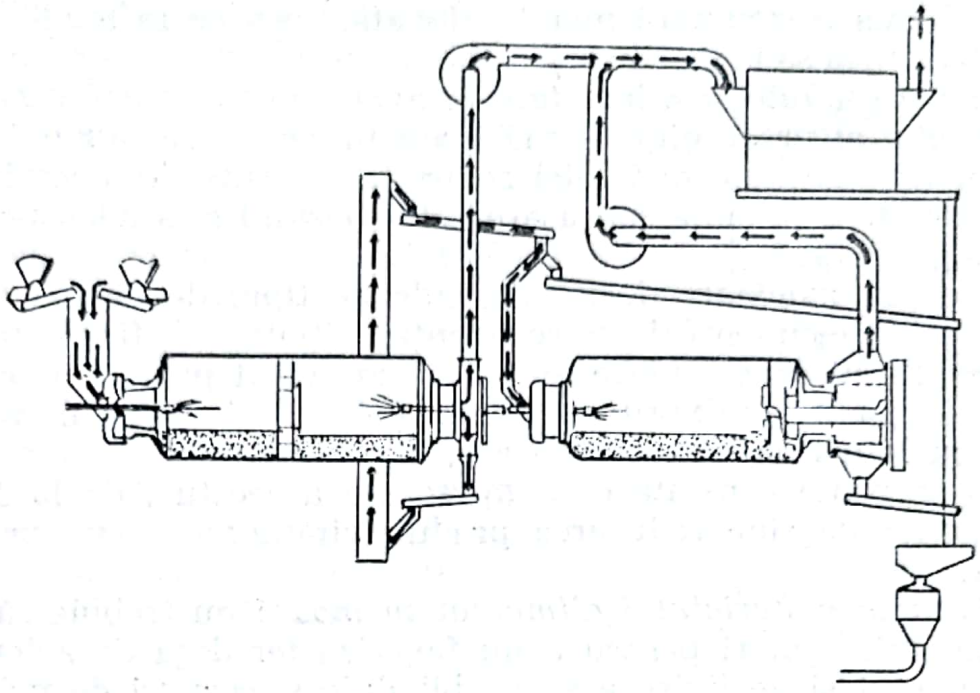


Fig. 7.65. Instalație de măcinare Minipebs.

— uzura bilelor ar fi foarte pronunțată, ceea ce ar reduce durata de funcționare a încărcăturii.

În aceste mori, dimensiunea minimă a corpurilor de măcinare nu trebuie să coboare sub 12 mm.

Se pot folosi totuși corpuri de măcinare mai mici de 12 mm într-o instalație recentă de măcinare în circuit deschis — *moara minipebs*. În principiu, instalația constă dintr-o moară preliminară și una finisoare, ambele lucrînd în circuit deschis — fig. 7.65. Moara preliminară este formată din două camere, despărțite între ele printr-un perete cu un orificiu central. Prin aceasta se asigură un nivel de material mai ridicat (ceea ce face ca moara să fie mai silențioasă) și, de asemenea, reținerea corpurilor de măcinare. În această moară cimentul se macină la o finețe de 2 500—3 000 cm^2/g (Blaine). Moara finisoare este încărcată cu corpuri de măcinare avînd greutatea de 1—2 g, iar evacuarea materialului se realizează printr-o construcție specială a peretelui de ieșire.

Randamentul procesului de măcinare a cimentului depinde, de asemenea, de o serie de factori caracteristici materialului, cum sînt :

Aptitudinea la măcinare a clincherului — dependentă de compoziția sa mineralogică (de ex. clinchere cu conținut ridicat de alit se macină mai ușor decît clinchere belitice), de natura agregatului în care s-a făcut arderea, de modul în care s-a realizat răcirea (cu cît răcirea este mai energică, de ex. în răcitorul grătar, clincherul re-

Scanned with OKEN Scanner

zultat va avea o structură mai tensionată, ceea ce influențează pozitiv aptitudinea sa la măcinare).

Mărimea granulelor alimentate în moară influențează randamentul energetic al procesului de măcinare în sensul că alimentarea în moară a unor granule mai mici reduce consumul de energie. Din această cauză se impune concasarea clincherului și a adaosurilor, în special a gipsului.

Finețea de măcinare dorită depinde de tipul de ciment care se fabrică (pentru cimenturi cu rezistențe inițiale sau finale mari de ex. se cer fineți de măcinare mai înaintate decît pentru cimenturile portland obișnuite). Exprimînd finețea de măcinare prin reziduul pe sita cu latura ochiului de 90 μm, din diagrama prezentată în fig. 7.66 se poate constata că o micșorare a acestuia de la 10% la 2% atrage după sine reducerea productivității morii cu aproximativ 50%.

Umiditatea materialului alimentat în moară nu trebuie să depășească anumite valori pentru a nu favoriza tendința de aglomerare a materialului și de lipire a sa pe blindaje și corpuri de măcinare, ceea ce reduce efectul de măcinare. Din aceste motive, umiditatea materialului se limitează la 0,5% pentru clincher, 2% pentru zgură, 10% pentru gips. În cazul zgurei granulate care se folosește ca adaos la măcinarea cimentului se impune, de obicei o uscare prealabilă în uscătoare tambur. De asemenea, trebuie asigurată o bună ventilație a morii, prin aceasta evitîndu-se și creșterea temperaturii din moară peste anumite valori admisibile (aprox. 80 °C).

Folosirea unor *intensificatori de măcinare* — substanțe care introduse în cantități mici în morile de ciment determină micșorarea

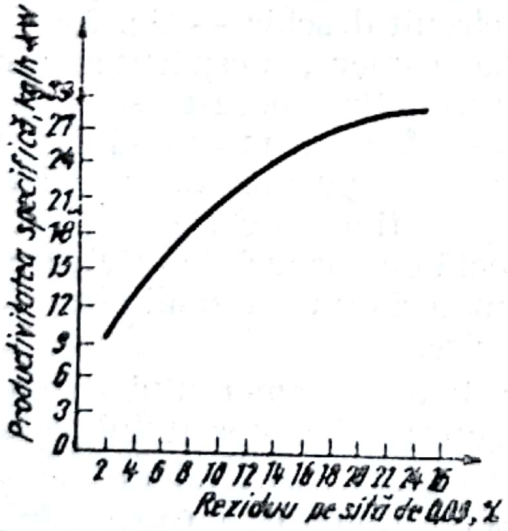


Fig. 7.66. Dependența productivității morii de finețea de măcinare a materialului rezultat.

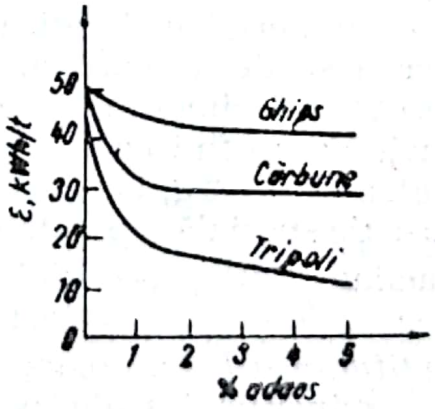


Fig. 7.67. Influența unor adaosuri asupra energiei consumate la măcinarea cimentului.

tendinței de aglomerare a particulelor fine — conduce la o scădere a consumului specific de energie pentru măcinarea unei tone de ciment sau permite ca, la consumuri egale de energie să crească productivitatea morii sau să se obțină suprafețe specifice mai mari. Efectul folosirii unor asemenea substanțe se reflectă și într-o funcționare mai bună a separatoarelor, cum și prin îmbunătățirea proprietăților de curgere a cimentului. În fig. 7.67 și 7.68 se prezintă influența unor asemenea substanțe asupra unor caracteristici ale procesului de măcinare.

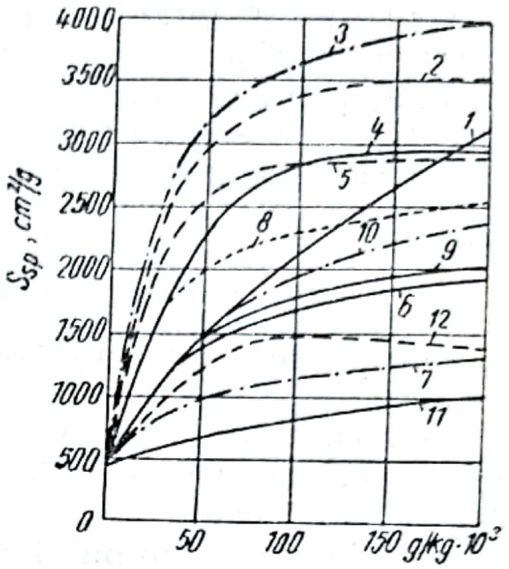


Fig. 7.68. Dependența suprafeței specifice a cimentului de adaosul la măcinare :

1 — trietanolamină; *2* — acid heptanfosforic; *3* — eter fenilpoliglicolic; *4* — stearat de sodiu; *5* — hidroxamat de sodiu; *6* — cetilsulfat de sodiu; *7* — esteri ai acidului fosforic; *8* — alcool decilic; *9* — leșie sulfitică; *10* — butil xantogenat de potasiu; *11* — ulei de siliconi; *12* — fosfat acid de potasiu.

În condițiile în care consumatorul de ciment este la o distanță foarte mică de producătorul de ciment (de ex. o fabrică de elemente prefabricate din beton lîngă o fabrică de ciment), măcinarea cimentului se poate face pe cale umedă, ceea ce mărește mult eficiența procesului și permite obținerea unor finețe foarte înaintate. Pasta de ciment rezultată, având raportul $a/c=0{,}4 \ldots 0{,}5$, trebuie folosită după cel mult 2—3 ore de la măcinare. Creșterea fineței de măcinare obținută pe această cale face posibilă înlocuirea parțială a clincherului cu adaosuri inerte, fără a diminua prin aceasta calitatea cimentului obținut, cu consecințe favorabile asupra costului. De asemenea, se realizează economii de investiții, deoarece se elimină parțial instalațiile de depozitare și ambalare a cimentului.

7.9. DEPOZITAREA ȘI LIVRAREA CIMENTULUI

De la mori, cimentul este transportat la silozurile de depozitare. Transportul se realizează pneumatic sau mecanic.

Dintre mijloacele mecanice se folosesc : transportorul elicoidal, benzi transportoare, elevatoare cu cupe. Aceste mijloace pot fi folosite numai pentru distanțe mici — pînă la 200 m pe orizontală și 30 m pe verticală.

Scanned with OKEN Scanner

Mult mai avantajos, atît din punctul de vedere al cheltuielilor necesare, cît și în ceea ce privește siguranța exploatării, este transportul pneumatic, care poate fi folosit cu rezultate bune și pentru distanțe mai mari (pînă la 800 m). Utilajele folosite sînt rigola pneumatică și instalațiile de transport în conducte cu alimentatoare cu melc (pompa Fuller) sau recipienți sub presiune.

7.9.1. DEPOZITAREA CIMENTULUI

Depozitarea cimentului se face în silozuri și are următoarele scopuri :

— crearea unui tampon între măcinare și expediere, pentru a se putea continua procesul de producție chiar în cazul unor eventuale stagnări în livrare ;

— asigurarea timpului minim necesar efectuării controlului de calitate a cimentului.

Silozurile de păstrare a cimentului sînt construcții etanșe din beton armat, cu secțiune circulară, dreptunghiulară sau pătrată, prevăzute cu una sau mai multe guri de evacuare — fig. 7.69. Ele se pot sprijini direct pe pămînt sau pe coloane (ceea ce este mai comod pentru extracția cimentului). Pentru ușurarea evacuării cimentului este necesar să se procedeze la afînarea sa în partea inferioară a silozului ; aceasta se poate face prin dispozitive mecanice (de ex. șnecuri de evacuare), sau insuflare de aer prin plăci poroase montate la partea inferioară a silozului.

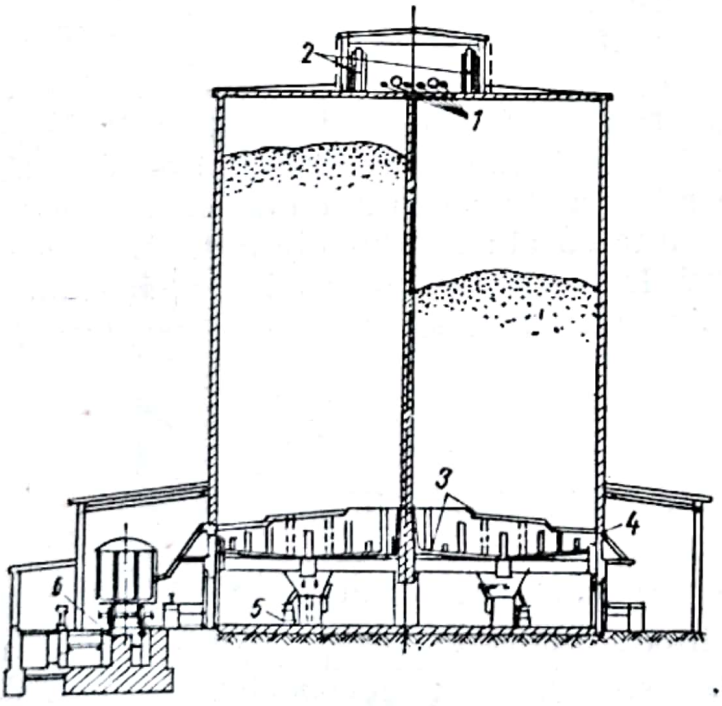


Fig. 7.69. Siloz de ciment :
1 — admisia cimentului; *2* — filtru; *3* — suport poros; *4* — descărcare pneumatică; *5* — jgheab de transport; *6* — cîntar pentru vagoane.

Dimensionarea silozurilor se face astfel încît să acopere producția de ciment pentru 2—4 săptămîni. Greutatea în vrac a cimentului se consideră 14 500 N/m^3, înălțimea silozurilor poate ajunge la 40 m, diametrul lor la aproximativ 20 m. Se construiesc cel puțin 4 silozuri — unul se încarcă, unul se descarcă, iar în celelalte două are loc păstrarea cimentului.

Scanned with OKEN Scanner

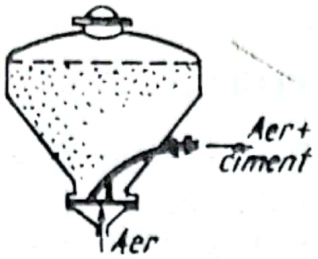


Fig. 7.70. Container pentru transportul cimentului.

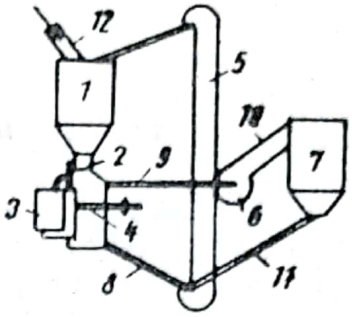


Fig. 7.71. Schema unei instalații de însăcuire :

1 — buncăr; *2* — alimentator; *3* — sac; *4* — cîntar; *5* — elevator cu cupe; *6* — ventilator; *7* — filtru; *8—12* — conducte de transport.

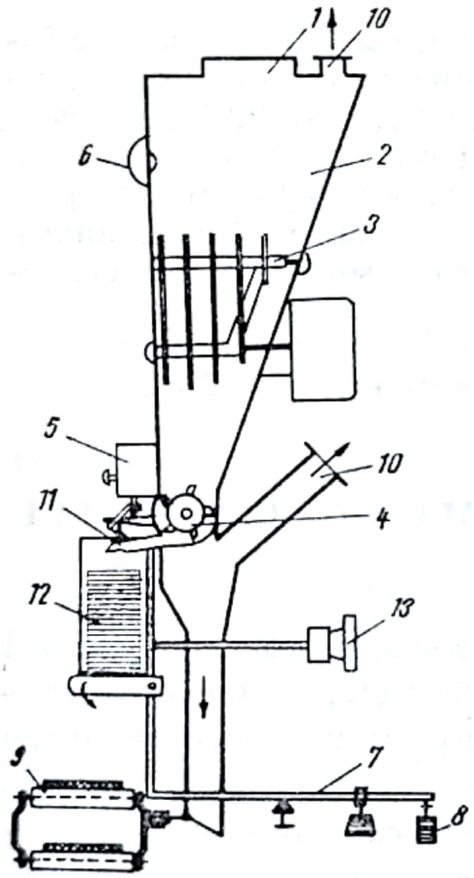


Fig. 7.72. Mașină de însăcuire staționară :

1 — gură de alimentare; *2* — buncăr; *3* — instalație de vibrare (îndesare); *4* — rotor cu palete; *5* — dispozitiv de deschidere-închidere a tubului de umplere a sacului; *6* — indicator de nivel; *7* — balanță; *8* — amortizor hidraulic; *9* — transportor cu bandă; *10* — spre instalația de desprăfuire; *11* — tub de umplere a sacilor; *12* — sac; *13* — magnet cu bară de împingere a sacului umplut.

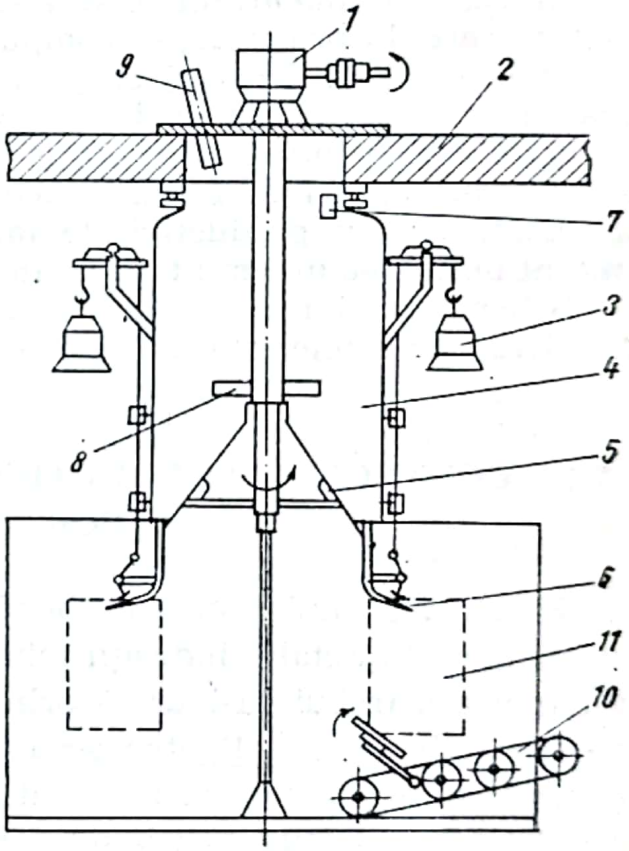


Fig. 7.73. Mașină de însăcuire rotativă :

1 — reductor; *2* — ghidaj; *3* — greutate (50 kg); *4* — rezervorul mașinii; *5* — insuflare de aer comprimat; *6* — tub de umplerea sacilor; *7* — indicator de nivel; *8* — agitator; *9* — tub de alimentare a mașinii; *10* — transportor cu plăci; *11* — sac.

Scanned with OKEN Scanner

7.9.2. LIVRAREA CIMENTULUI

Livrarea cimentului se face în vrac, sau ambalat în saci.

Livrarea în vrac este mai avantajoasă din punct de vedere economic (cheltuielile de livrare sînt cu 35—50% mai reduse decît la livrarea în saci) și este indicată în cazul marilor consumatori. În acest scop se folosesc diferite containere și recipiente pneumatice montate pe autocamioane, vagoane C.F.R. sau mijloace de transport pe apă (vapoare, șlepuri). Schema funcțională a unui asemenea container este prezentată în fig. 7.70. Golirea containerelor se bazează pe fenomenul de fluidizare a cimentului sub acțiunea aerului insuflat sub presiune, ceea ce îl face capabil să curgă prin conducte, golind astfel recipientul.

Ambalarea cimentului în saci se face cu instalații speciale de însăcuire care, în principiu, se compun dintr-un buncăr de ciment prevăzut la partea inferioară cu guri de extracție, instalații de dozare gravimetrică și un sistem de desprăfuire și recirculare a cimentului în buncăr. Schema funcțională a unei asemenea instalații este prezentată în fig. 7.71. Mașinile moderne de însăcuire sînt instalații automatizate, cu productivitate mare, la care se realizează concomitent umplerea mai multor saci (6—12).

Schema unei mașini de însăcuire staționară este prezentată în fig. 7.72, iar a unei mașini de însăcuire rotative în fig. 7.73.

7.10. CONTROLUL PRODUCȚIEI ȘI CALITĂȚII CIMENTULUI PORTLAND

Fabricarea unui ciment de bună calitate este posibilă numai dacă se stabilesc în detaliu indicații tehnologice corecte. Respectarea acestor indicații trebuie asigurată prin efectuarea unui control continuu pe faze tehnologice. Pentru aceasta este necesar să se stabilească concret în ce puncte ale fluxului tehnologic este necesar să se extragă probe pentru analiză și la ce intervale să se efectueze aceste analize. O atenție deosebită trebuie acordată caracterului reprezentativ al acestor probe. Înainte de a fi examinate, probele trebuie mărunțite și omogenizate. În tabelul 7.13 se prezintă principalele etape (operații) în fluxul tehnologic pentru fabricarea cimentului, cu indicarea locurilor (+) din care trebuie colectate probe pentru a fi analizate, periodicitatea prelevării acestora, cum și precizarea determinărilor ce trebuie făcute.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.13

		Operația în procesul tehnologic:								
		Extracția	Concasarea	Uscarea	Măcinarea am. brut	Omogenizarea	Corectarea	Clincherizarea	Măcinarea	Depozitarea
Periodicitatea	Anual	+	−	−	−	−	−	−	−	−
	Lunar	+	+	+	−	−	−	−	−	−
	Zilnic (pe schimb)	−	−	+	+	−	−	+	+	−
	Orar	−	−	−	+	+	+	+	+	+
	Pe bazine	−	−	−	−	+	+	−	−	−
	Pe silozuri	−	−	−	−	+	+	−	+	+
	Pe loturi	−	+	−	−	+	−	−	+	+
Locul prelevării probelor	Front exploatat	+	−	−	−	−	−	−	−	−
	Intrări agregat	−	+	+	+	−	−	−	+	−
	Ieșiri agregat	−	+	+	+	−	−	+	+	−
	Bazine	−	−	−	−	+	+	−	−	−
	Silozuri	−	−	−	−	+	+	−	−	+
	Mijloace de transport	+	−	−	−	−	−	−	−	+
Determinările	Conținut în apă		+	−	+	−	+	−	+	−
	Granulometria		−	+	+	−	−	−	+	+
	$CaCO_3$		−	−	+	+	+	−	−	−
	Finețea de măcinare		−	−	+	−	−	− −	+	+
	Greutatea litrică		−	−	−	−	−	− +	−	−
	Priza		−	−	−	−	−	− −	+	+
	Constanta de volum		−	−	−	−	−	− −	−	+
	Rezistențe mecanice		−	−	−	−	−	− −	+	+
	Alte determinări		−	−	−	−	−	− −	+	+
	Compoziția chimică		+	−	−	−	−	− +	+	+

Metodologia de efectuare a acestor analize și determinări, cum și limitele în care trebuie să se încadreze diferitele caracteristici în funcție de tipul și marca cimentului fabricat, sînt precizate în standarde și norme interne, care trebuie să existe la fiecare combinat de ciment.

Scanned with OKEN Scanner

8. TIPURI SPECIALE DE CIMENT PORTLAND

În această categorie intră cimenturile portland care, datorită unor destinații speciale, trebuie să prezinte anumite caracteristici particulare. Ca urmare și tehnologia obținerii lor prezintă unele particularități, atît sub aspectul materiilor prime folosite, cît și al operațiilor tehnologice ca atare.

Din categoria cimenturilor portland speciale, mai importante sînt : cimenturile cu rezistențe inițiale mari (RIM), cimenturile cu rezistențe finale mari (RFM), cimenturile albe și colorate, cimenturi pentru produse de azbociment, cimenturi de drumuri, cimenturi pentru baraje, ciment de sondă.

8.1. CIMENT CU REZISTENȚE INIȚIALE MARI (RIM)

8.1.1. DEFINIRE

Ritmul tot mai intens de realizare a construcțiilor civile și industriale a impus obținerea unor cimenturi care să se întărească mai rapid și să prezinte rezistențe mecanice bune chiar după intervale scurte de timp. Tehnologia obținerii de cimenturi cu rezistențe inițiale mari prezintă un grad mai mare de complexitate, ceea ce conduce la un cost mai ridicat. Acesta este însă compensat de eficiența tehnico-economică pe care folosirea unor asemenea cimenturi în construcții o prezintă prin :

— reducerea consumului de ciment pentru 1 m^3 de beton ;

— decofrarea mai timpurie a elementelor prefabricate decît în cazul cimenturilor obișnuite, ceea ce scurtează ciclul de fabricație ;

— reducerea duratei ciclului de tratare termică a elementelor prefabricate (tinzînd spre eliminarea completă a acestuia).

Scanned with OKEN Scanner

Cimenturile cu rezistențe inițiale mari se caracterizează printr-o viteză mare de întărire, atingînd după 48 ore aproximativ 50—60% din valoarea rezistenței mecanice după 28 zile. Valoarea rezistenței la compresiune după 48 ore de întărire, determinată în condiții standard (STAS 227-78) reprezintă marca cimentului RIM. În general, după acest interval rezistențele mecanice cresc mult mai lent, așa cum rezultă din fig. 8.1.

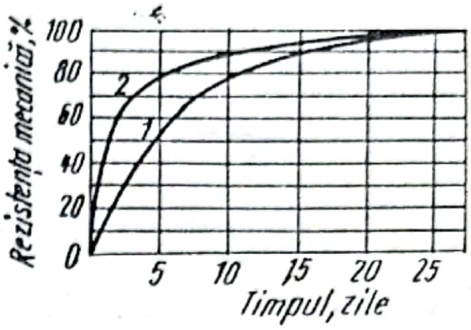


Fig. 8.1. Creșterea în timp a rezistenței la compresiune pentru un ciment portland normal (*1*) și un ciment RIM (*2*).

La noi în țară sînt standardizate și se fabrică următoarele sortimente de ciment RIM : RIM 20, RIM 30 (STAS 6486-68). Experimental s-a realizat și cimentul RIM 40, obținerea sa implicînd însă un consum de energie foarte ridicat.

8.1.2. FACTORI CARE CONDIȚIONEAZĂ OBȚINEREA CIMENTULUI RIM

Obținerea cimenturilor cu viteză mare de întărire și rezistențe inițiale mari este condiționată de o serie de factori cum sînt : compoziția mineralogică și structura clincherului, natura materiilor prime, prepararea amestecului brut, arderea și răcirea clincherului, măcinarea cimentului.

Compoziția mineralogică a clincherului este hotărîtoare pentru obținerea cimentului RIM. Dintre compușii mineralogici, alitul este acela care asigură rezistențe mecanice mari, atît la perioade scurte de timp, cît și după timp îndelungat. Aluminatul tricalcic, existent de regulă în cantitate mică în clincherul de ciment portland, se hidratează cu viteză mare, asigurînd rezistențe mari la perioade scurte de timp ; acestea prezintă însă scăderi importante după perioade de timp mai îndelungate.

Influența pe care conținutul de alit din clincher o are asupra rezistențelor mecanice ale cimentului la perioade scurte de întărire este ilustrată de curbele din fig. 8.2.

Un conținut de silicat tricalcic mai mare de 55—60% determină creșteri importante ale rezistențelor mecanice, atît după intervale scurte de timp, cît și după perioade mai îndelungate (28 zile). Conținutul de aluminat tricalcic se limitează la valori mici (5—15%), așa încît să asigure inițial o viteză mare de întărire, dar în același timp să nu ducă la scăderi de rezistență după intervale mari de timp. Rezultă deci că pentru obținerea unor cimenturi cu rezistențe

Scanned with OKEN Scanner

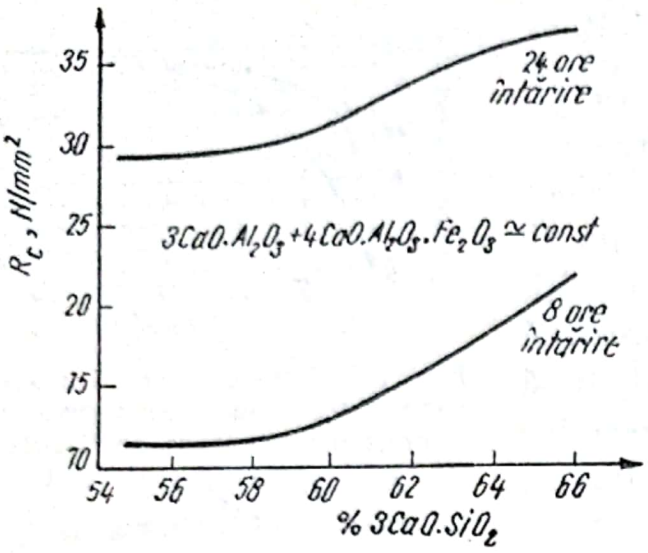


Fig. 8.2. Variația rezistenței mecanice (la perioade scurte de întărire), în funcție de conținutul de silicat tricalcic din ciment.

inițiale mari este necesar ca suma ($C_3S + C_3A$) să fie de minimum 65%, iar C_3S mai mare ca 55% și C_3A pînă la 15%.

Un conținut ridicat de silicat tricalcic presupune un grad de saturare mare al clincherului, ceea ce la rîndul său implică o ardere îngrijită a amestecului brut, astfel încît să se realizeze legarea practic integrală a oxidului de calciu.

Natura materiilor prime și finețea lor de măcinare influențează în măsură importantă procesele de clincherizare. Cu cît reactivitatea materiilor prime este mai redusă (cum este cazul prezenței unor incluziuni cuarțoase în materialele argiloase, sau al unor calcare cu cristale grosiere de calcit), finețea de măcinare trebuie să fie mai avansată. În general se comportă bine la ardere amestecuri brute măcinate la finețe corespunzătoare unor rezidii de 5—10% pe sita cu ochiuri de 90 μm. Mărimea granulelor de cuarț nu trebuie să depășească 30 μm.

Condițiile de ardere și răcire a clincherului sînt hotărîtoare pentru cantitatea de silicat tricalcic ce se formează la arderea unui amestec brut de o anumită compoziție, deci implicit pentru calitatea cimentului RIM fabricat. În funcție de cantitatea de alit preconizată în clincher, se impune asigurarea unei temperaturi de ardere corespunzătoare.

Folosirea în procesul de ardere a unor substanțe mineralizatoare, care să faciliteze formarea alitului și o structură reactivă a acestuia, poate constitui o modalitate de obținere a clincherelor pentru ciment RIM. S-au dovedit eficace din acest punct de vedere, adaosuri de sulfat de calciu, sulfat feros, fluoruri, fluorosilicați alcalini și alcalinopămîntoși.

Măcinarea cimentului la o finețe înaintată favorizează obținerea unor rezistențe inițiale mari. Hotărîtoare pentru rezistențele mecanice în primele stadii de întărire sînt granulele mai mici de 10 μm,

Scanned with OKEN Scanner

fracțiunile pînă la 30 μm condiționînd îndeosebi rezistențele mecanice la intervale mai mari de timp (28 zile). Experimental s-a constatat că pentru obținerea de cimenturi cu viteză mare de întărire, fracțiunea de granule mai mici de 30 μm trebuie să fie în proporție de cel puțin 65%.

Pentru cimenturi RIM de o anumită compoziție se pot obține, chiar pentru finețe de măcinare obișnuite, rezistențe mecanice inițiale mai mari dacă se folosesc adaosuri acceleratoare ale procesului de întărire. Un adaos deosebit de eficace s-a dovedit a fi clorura de calciu, care dozată în proporție de 2—3% față de ciment conduce la creșteri ale rezistențelor mecanice după o zi de întărire, de aproximativ 30—40%. Datorită higroscopicității mari a clorurii de calciu, introducerea sa la măcinarea cimentului determină aglomerarea acestuia, cu repercusiuni asupra randamentului energetic al procesului. Ca urmare este indicată introducerea clorurii de calciu direct în apa de amestecare la prepararea pastei (mortarului, betonului) de ciment.

8.2. CIMENT CU REZISTENȚE FINALE MARI (RFM)

Sînt denumite astfel cimenturile care au marcă mai mare decît P 50. Pentru obținerea acestor cimenturi trebuie acționat prin următorii factori : compoziție mineralogică, structura clincherului, finețea de măcinare și granulometria cimentului.

Întrucît alitul condiționează dezvoltarea unor rezistențe mecanice mari, este indicat ca cimenturile RFM să aibă un conținut ridicat de alit (peste 60%). Aceasta înseamnă un grad de saturare ridicat (aproape de 1), care trebuie bine corelat cu valoarea M_{Al} și M_{Si}, pentru a se realiza într-adevăr un conținut ridicat de C_3S.

Prin tratamentul de ardere și răcire a clincherului trebuie să se urmărească obținerea unei structuri reactive, cu cristale de alit mici, dar conturate și bine dezvoltate.

O deosebită importanță pentru obținerea cimenturilor RFM o are finețea de măcinare și compoziția granulometrică. În tabelul 8.1 se prezintă, pentru exemplificare, date privind influența pe care finețea de măcinare o exercită asupra rezistențelor mecanice, chiar și la perioade mari de întărire.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.1

Indice ciment	Suprafața specifică cm²/g	Rezistența la compresiune (daN/cm²) după :		
		1 zi	7 zile	28 zile
A1	4 970	255	602	703
A2	5 010	352	650	837
B1	3 670	266	532	737
B2	4 890	251	598	871
C1	4 200	461	—	661
C2	4 350	—	—	860

Domeniul optim de granulozitate pentru cimenturile RFM este cuprins între 5(7) și 30 μm.

8.3. CIMENTURI ALBE ȘI COLORATE

Cimenturile albe și colorate reprezintă lianții utilizați pentru lucrări de finisaj. Obținerea lor presupune o serie de precauții, atît în ceea ce privește natura materiilor prime, cît și tehnologia propriu-zisă de fabricație.

Pentru obținerea cimenturilor albe sînt necesare materii prime lipsite sau avînd un conținut foarte redus de compuși care colorează, cum sînt oxizii de fier, de mangan sau crom. De asemenea, se impune luarea unor măsuri care să evite impurificarea cu substanțe colorante pe parcursul fluxului tehnologic.

Cimenturile colorate se pot obține fie din clinchere albe măcinate cu adaosuri de substanțe colorante, fie din clinchere colorate — rezultate prin arderea unor amestecuri brute conținînd cantități mici de adaosuri colorante.

8.3.1. CIMENT PORTLAND ALB

Pentru obținerea cimentului portland alb sînt necesare materii prime cu un înalt grad de puritate, astfel încît conținutul de Fe_2O_3 din amestecul brut să nu depășească 0,5—0,8%, iar oxizii de crom sau mangan să nu apară deloc, sau în cantități foarte mici. Pentru

Scanned with OKEN Scanner

compoziția chimică a amestecurilor brute pentru clinchere albe se indică următoarele limite : CaO 64—69% ; SiO_2 23—26% ; Al_2O_3 4—7,5% ; MgO 0,5—2% ; SO_3 0,5—2% ; Fe_2O_3 0,25—0,8%. Clincherul rezultat prin arderea pînă la vitrifiere a unui asemenea amestec brut va conține ca principali compuși mineralogici alit, belit, aluminat tricalcic, fiind lipsit de compuși cu fier. Aceasta face ca cimenturile portland albe să se poată încadra în sistemul CaO—SiO_2—Al_2O_3 (fig. 8.3).

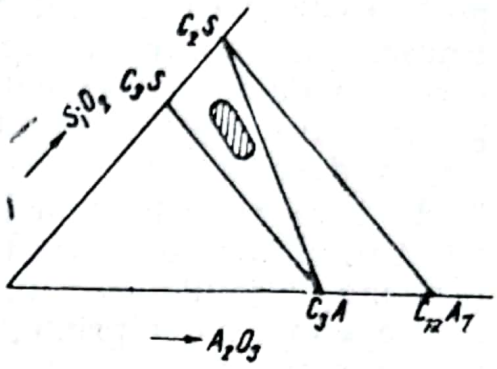


Fig. 8.3. Locul cimenturilor portland albe în sistemul CaO—SiO_2—Al_2O_3 (zona haşurată).

Pentru *obținerea cimenturilor portland albe* de bună calitate prezintă importanță atît natura materiilor prime utilizate, cît și respectarea strictă a unor precauții ce se impun a fi luate în diversele etape ale fluxului tehnologic.

Drept component calcaros al amestecului brut se poate folosi calcar cu conținut redus de oxizi de fier și de mangan, iar componentul argilos poate fi caolin brut, caolin spălat, bentonite.

În tabelul 8.2 se prezintă cîteva compoziții chimice ale unor materii prime românești, utilizabile pentru obținerea de ciment portland alb.

Tabelul 8.2

Materia primă	Compoziția chimică, %							
	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	R_2O	MgO	TiO_2	P.C.
Calcar de Brașov	53,35	3,91	1,53	0,40	—	—	—	41,0
Caolin înnobilat	0,40	65,0	21,70	0,24	0,3	0,08	urme	6,5
Trass	4,23	68,04	13,22	0,55	2,9	—	—	10,98
Nisip cuarțos	2,44	93,8	2,2	0,14	—	0,85	—	0,57

Ca procedeu de fabricație a cimentului alb este indicat procedeul uscat, conform căruia materiile prime sînt inițial concasate și uscate, după care se dozează corespunzător rețetei. Amestecul brut se macină, se omogenizează și se corectează. Arderea acestuia se realizează în cuptoare rotative de tipul celor folosite pentru cimentul portland normal. Pentru creșterea gradului de alb al clincherului se

Scanned with OKEN Scanner

poate realiza arderea dublă, în sensul că materialul calcaros se calcinează inițial într-un cuptor vertical, după care varul rezultat se stinge în pulbere și numai după aceea se amestecă cu ceilalți componenți. Amestecul obținut se omogenizează și se arde în cuptorul rotativ de clincher.

În general, principalele etape ale fluxului tehnologic se realizează în utilaje de același tip cu cele folosite la fabricarea cimentului portland obișnuit. Precauții deosebite se impun la operațiile de măcinare a materiilor prime, de ardere a amestecului brut și de măcinare a cimentului.

Pentru evitarea impurificării materiilor prime cu fier în timpul măcinării, morile trebuie să fie căptușite cu gresie silicioasă sau eventual cu porțelan, iar corpurile de măcinare să fie confecționate din același material. În cazul în care nu este posibilă folosirea unor asemenea materiale (de ex. în cazul unor calcare foarte dure) se recomandă realizarea căptușelii morilor și a corpurilor de măcinare dintr-un oțel cu rezistență mare la uzură. În condițiile calcinării prealabile a calcarului, măcinarea varului rezultat (avînd o duritate mult mai mică decît calcarul) se poate realiza fără dificultăți în mori căptușite cu gresie silicioasă sau porțelan.

Lipsa aproape totală a oxizilor de fier din amestecul brut determină unele particularități în procesul de ardere și în compoziția fazală a clincherului. Compușii cristalini din clincher sînt în principal C_3S, C_2S (care reprezintă împreună aprox. 80%) și C_3A (sub 15%). Faza lichidă, constînd aproape exclusiv din C_3A apare la temperaturi mai ridicate (1 400—1 450 °C) decît în cazul cimentului portland obișnuit. Aceasta impune creșterea temperaturii de ardere la clincherul de ciment portland alb, la aproximativ 1 600—1 650 °C, cu consecințe negative asupra productivității cuptorului.

Creșterea reactivității compușilor amestecului brut, deci reducerea întrucîtva a temperaturii de clincherizare este posibilă atît prin realizarea unui grad cît mai mare de uniformitate și a unei finețe de măcinare înaintate a amestecului brut, cît și prin folosirea unor adaosuri mineralizatoare. În acest scop se pot folosi cu bune rezultate compuși cu fluor (fluoruri, fluorosilicați în proporție de 0,2—0,5%), gips (2—5%), fosfogips, cloruri (aproximativ 1%).

Pentru evitarea impurificării clincherului, arderea se realizează cu combustibil lichid sau gazos, care să nu genereze cenușă. De asemenea, zona de clincherizare a cuptorului este indicat să se căptușească cu cărămizi refractare forsteritice sau magnezitice sau talcomagnezitice. Arderea trebuie realizată în mediu reducător, asigurîndu-se astfel condiții pentru reducerea oxizilor de fier și mangan

Scanned with OKEN Scanner

eventual existenți, la treapta de valență inferioară. Aceasta conduce la diminuarea efectului lor colorant.

Răcirea clincherului trebuie să se facă rapid, realizîndu-se prin aceasta o creștere a gradului de alb.

Calitatea cimentului alb este condiționată în măsură importantă de finețea lui de măcinare. Creșterea fineței de măcinare pînă la o anumită valoare determină un grad de alb mai mare al cimentului, îmbunătățindu-i totodată proprietățile de rezistență mecanică. Adaosuri de ghips și diatomit pur pot mări gradul de alb al cimentului.

Pentru măcinarea cimentului sînt indicate morile tubulare căptușite cu gresie silicioasă, silex sau oțeluri speciale. Corpurile de măcinare se realizează din același material. Cimentul alb se macină de regulă la fineți corespunzînd unor suprafețe specifice Blaine de 3 500—4 000 cm^2/g.

Cele mai multe din *proprietățile cimentului portland alb* — apa de consistență normală, timpul de priză, proprietățile mecanice, constanța de volum și căldura de hidratare se definesc în același mod și variază în limite apropiate cu acelea corespunzătoare cimentului portland normal.

Caracteristic pentru cimentul alb este *gradul de alb*. Acesta se definește în comparație cu coeficientul de reflexie al sulfatului de bariu și este cuprins între 70 și 90%. Valoarea sa este condiționată în primul rînd de conținutul de oxizi coloranți din clincher. O creștere a gradului de alb cu aproximativ 1—4% se poate realiza prin introducerea în amestecul de materii prime a unor substanțe mineralizatoare. De asemenea, creșterea suprafeței specifice a cimentului de la 2 500 cm^2/g la 5 000 cm^2/g conduce la o mărire a gradului de alb cu 15—16%.

La o creștere a gradului de alb se ajunge și prin introducerea la măcinarea cimentului a unor adaosuri de materiale cu grad mare de alb (marmură albă — în cantitate de cel mult 20%, diatomit pur — pînă la 10%), sau prin expunerea clincherului la un curent de gaze reducătoare avînd temperatura de 800—1 000 °C, urmată de o răcire bruscă. Acest tratament determină reducerea oxizilor de fier : $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO$ și, ca urmare, micșorarea efectului lor colorant.

8.3.2. CIMENTURI PORTLAND COLORATE

Clincherele colorate din care se obțin cimenturile colorate se deosebesc de clincherul de ciment portland alb în ceea ce privește compoziția oxidică numai prin prezența unor cantități mici de oxizi coloranți. Ca urmare, locul lor poate fi delimitat la secțiuni ale sis-

Scanned with OKEN Scanner

temului $CaO—SiO_2—Al_2O_3$—oxid colorant. În clincherele colorate apar aceeaşi compuşi mineralogici ca în clincherul de ciment portland alb, procesele lor de formare fiind facilitate de prezenţa oxizilor coloranţi care acţionează uneori ca mineralizatori.

Obţinerea cimenturilor colorate din clincher alb presupune folosirea ca materii prime, pe lîngă rocile calcaroase şi argiloase şi a pigmenţilor care asigură colorarea cimentului în timpul măcinării. Se pot folosi, în acest scop, pigmenţi minerali şi organici care să corespundă următoarelor cerinţe :

— capacitate mare de colorare ;

— rezistenţă la acţiunea agenţilor atmosferici (lumină, variaţii de temperatură, umiditate) ;

— rezistenţă la acţiunea alcaliilor ;

— cost redus ;

— să nu conţină impurităţi solubile în apă, care să modifice timpul de priză şi proprietăţile de întărire ale cimentului ;

— să nu reacţioneze cu clincherul sau cu produşii de hidratare ai acestuia.

Dintre pigmenţii minerali, răspund bine unor asemenea cerinţe : oxizii de fier care dau colorаţii variind de la galben brun la negru, oxizii de crom care colorează în verde măsliniu, oxizii de cupru şi mangan, care dau coloraţie neagră, oxizii de cobalt, care colorează în nuanţe de albastru.

Pigmenţii organici, deşi au o putere de colorare mai mare decît cei minerali (asigură o bună colorare chiar introduşi în cantitate de numai 0,1—0,3%) sînt mai puţin stabili la acţiunea agenţilor atmosferici, aceasta limitînd utilizarea lor. În categoria acestor pigmenţi se încadrează negrul de fum.

Pentru obţinerea clincherelor colorate se pot folosi roci calcaroase şi argiloase, al căror grad de puritate este impus de nuanţa clincherului ce urmează a se fabrica. Astfel, pentru clincherele colorate în nuanţe deschise, se pot utiliza calcare şi materiale argiloase avînd un conţinut de oxizi coloranţi cu aproximativ 0,5% mai mare decît la cele folosite pentru clincherele albe. Clincherele de culori mai închise se pot obţine din aceleaşi materii prime ca şi clincherul de ciment portland obişnuit, eventual avînd chiar un conţinut mai mare de Fe_2O_3 şi MnO — în cazul fabricării clincherelor negre.

Ca agenţi de colorare a acestor clinchere se folosesc oxizi de crom (0,5—1%), oxizi de cobalt (0,4—1%), oxizi de mangan (pînă la 6%), oxizi de fier (pînă la 3%), precum şi unele minereuri (cromit, piroluzită) sau deşeuri (zguri din industria metalurgică, deşeuri de cărămizi cromomagnezitice etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Fabricarea cimenturilor colorate pe bază de clinchere albe presupune, ca operațiune particulară, în fluxul tehnologic, măcinarea clincherelor cu adaosurile colorante.

Componenții cimentului — clincher și pigmenți, dozați cu precizie, se macină în mori tubulare, în condiții care să evite impurificarea cu fier sau alte elemente colorante, mai ales în cazul fabricării unor cimenturi de nuanțe deschise.

Deoarece adaosul colorant se introduce de regulă, în cantități foarte mici, în condițiile măcinării pe cale uscată, nu se poate realiza un grad de omogenizare suficient de mare al cimentului rezultat, sau se poate ajunge la separarea pigmenților în masa de beton preparat dintr-un asemenea ciment. Pentru evitarea acestui inconvenient se poate realiza măcinarea umedă, folosind un alt lichid decît apa, urmată de îndepărtarea și recuperarea lichidului din pasta rezultată.

Obținerea cimenturilor colorate din clinchere colorate se bazează pe capacitatea compușilor mineralogici de a îngloba, sub formă de soluții solide, cantități mici de oxizi cu efect colorant — Fe_2O_3, Cr_2O_3, Mn_2O_3, CaO etc.

Fluxul tehnologic este asemănător cu acela propriu cimentului alb, diferențiindu-se de acesta prin natura materiilor prime și regimul de ardere și răcire a clincherului. Arderea se realizează în cuptoare rotative mici, la temperaturi în jur de 1 500 °C, regimul de răcire fiind determinat de compoziția mineralogică a clincherului și natura adaosului colorant. Astfel, la folosirea oxidului de crom, se obține culoarea verde-smarald intens în condițiile arderii și răcirii în mediu slab reducător în timp ce în condiții puternic reducătoare rezultă clinchere albastre. De asemenea, pentru clincherele conținînd oxizi de cobalt se obțin colorații variind de la galben intens — în condițiile arderii și răcirii în mediu oxidant, la albastru violet — în cazul unui mediu reducător.

Măcinarea clincherelor de culoare deschisă trebuie să se facă în mori căptușite cu plăci ceramice sau din silex, folosind corpuri de măcinare corespunzătoare ; clincherele avînd culori închise se pot măcina în mori tubulare obișnuite.

Cimenturile colorate se caracterizează, în general, prin *proprietăți fizico-mecanice* asemănătoare cu cimentul portland obișnuit. Așa cum cimenturilor albe le este caracteristic gradul de alb, pentru cimenturile colorate prezintă interes particular, culoarea. Aceasta este determinată de gradul de alb al clincherului — cînd cimentul se obține din clincher alb și pigmenți, cît și de natura și cantitatea pigmentului folosit. Același pigment, în cantități egale, poate determina o colorare mai intensă în cazul cînd se introduce în amestecul

Scanned with OKEN Scanner

brut, decît dacă se adaugă la măcinarea clincherului. Dealtfel, mortarele obținute din cimenturi pe bază de clinchere colorate, au o stabilitate a culorii mai mare decît cele din cimenturi colorate pe bază de clincher alb și pigmenți.

Rezistențele mecanice ale cimenturilor colorate nu sînt afectate sensibil de introducerea pigmenților, în unele cazuri fiind influențate chiar pozitiv.

Ca și în cazul cimenturilor albe, pentru cimenturile colorate se impune o bună constanță de volum. Unii pigmenți, cum sînt oxizii de crom, pot determina (chiar pentru cantități mici) variații de volum destul de importante, cu repercusiuni asupra aspectului și rezistențelor mecanice ale cimentului.

8.4. CIMENT PORTLAND PENTRU PRODUSE DE AZBOCIMENT

Obținerea produselor de azbociment cu anumite proprietăți particulare este rezultatul participării constituenților — ciment și azbest, la o serie de procese fizico-chimice în prezența apei, fiecare din cei doi constituenți principali transmițînd produsului finit anumite proprietăți specifice.

Cimentul destinat obținerii azbocimentului trebuie să prezinte anumite caracteristici compoziționale și de granulozitate, așa încît prin rezistența proprie și printr-o bună adeziune la fibrele de azbest, să determine obținerea unor produse cu rezistențe mecanice bune.

Întrucît obținerea produselor de azbociment presupune prelucrarea unor paste cu un conținut foarte mare de apă și îndepărtarea în final a unei mari părți din aceasta, prin filtrare și vidare, prin caracteristicile sale cimentul trebuie să asigure o deshidratare ușoară a masei. Aceasta se realizează printr-o finețe de măcinare nu prea înaintată a cimentului, astfel aleasă însă încît să nu afecteze viteza proceselor de hidratare și întărire. Poate fi considerată corespunzătoare o finețe de măcinare caracterizată prin reziduu pe sita cu ochiuri de 90 μm de 7—12%.

Din punct de vedere compozițional este bine ca cimentul pentru azbociment să conțină relativ mult silicat tricalcic ($C_3S \geqslant 50\%$), așa încît să asigure produselor o structură de rezistență corespunzătoare, iar aluminatul tricalcic să fie în cantitate mai mică ($C_3A \leqslant 8\%$) avînd în vedere că produsele de azbociment se întăresc prin tratament termic. Priza unui asemenea ciment nu trebuie să înceapă mai devreme de 1,5 ore. Conținutul de CaO liber trebuie să fie mai mic de 1%,

Scanned with OKEN Scanner

iar MgO și SO_3 sînt admiși în aceleași proporții ca în cimentul portland obișnuit.

La cimentul pentru produse de azbociment nu este indicată folosirea adaosurilor hidraulice, ele putînd influența negativ calitatea acestora, prin modificarea compactității și permeabilității lor.

8.5. CIMENT PENTRU BARAJE

Betoanele utilizate pentru construcții hidrotehnice trebuie să prezinte unele caracteristici deosebite, impuse de complexitatea solicitărilor la care sînt supuse asemenea construcții. În general, betoanele hidrotehnice trebuie să se caracterizeze prin : permeabilitate mică, rezistență bună la gelivitate și coroziune, contracție mică la întărire, rezistențe mecanice bune, exotermicitate și deformație sub sarcină reduse.

Cimentul, prin compoziția sa mineralogică, joacă un rol deosebit de important în asigurarea proprietăților specifice impuse betoanelor hidrotehnice.

Pentru ca betonul să aibă o exotermicitate redusă (absolut necesară în condițiile utilizării pentru construcții masive cum sînt barajele) se impune ca cimentul să conțină cantități reduse din acei compuși mineralogici care degajă multă căldură în timpul hidratării (C_3A și C_3S).

Contracția mică la întărire și deci impermeabilitatea betonului sînt asigurate de un ciment cu conținut redus în constituenți mineralogici care generează cantități importante de hidrocompuși gelici în primele stadii ale întăririi (C_3S).

Rezistența betonului la acțiunea agenților corosivi este influențată sensibil de conținutul în hidroxid de calciu și hidroaluminat tricalcic din cimentul pe care îl conține, impunîndu-se și din acest punct de vedere reducerea proporției de C_3S și C_3A din ciment. Conținutul de silicat tricalcic nu trebuie redus însă prea mult, dat fiind rolul său în asigurarea rezistențelor mecanice ale betonului și, de asemenea, pentru deformațiile sub sarcină ale acestuia. Se impune în consecință, realizarea unui raport optim între conținutul de silicat di și tricalcic din ciment, limitîndu-se la valori mici proporția de aluminat tricalcic.

Întrucît este dificil de realizat ca unul și același ciment să asigure o comportare bună a betoanelor hidrotehnice față de diversele solicitări, de cele mai multe ori în asemenea construcții se folosesc două sortimente de ciment : unul pentru zonele exterioare mai so-

Scanned with OKEN Scanner

licitate din punct de vedere mecanic, iar altul pentru zonele interioare pentru care sînt importante îndeosebi contracția și exotermicitatea reduse. În tabelul 8.3 se dau limitele de compoziție mineralogică pentru două asemenea cimenturi.

Tabelul 8.3

Cimentul	Compoziția mineralogică %				Caracteristici modulare		
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	S_K	M_{Si}	M_{Al}
A	37—56	24—40	0—5	15—19	0,83—0,90	2,1—2,56	0,6—0,88
B	20—37	40—56	0—5	15,2—20	0,76—0,82	2,16—2,70	0,5—0,90

Cimentul A, un ciment feritaluminatic normal secaracterizează prin rezistențe mecanice bune, fiind deci utilizabil în zonele exterioare ale construcției. Cimentul B — feritaluminatbelitic, prezintă rezistențe mecanice mai mici, dar în același timp și o exotermicitate redusă și este indicat pentru părțile interioare ale construcției. În tabelul 8.4 se prezintă comparativ principalele proprietăți fizico-mecanice ale celor două tipuri de cimenturi de baraj.

Tabelul 8.4

Caracteristici	Cimentul	
	A	B
Finețea de măcinare (rest pe sita 009, %)	max. 10	max. 9
Constanța de volum		
— pe turte	bună	bună
— pe inele Le Chatelier	max. 10 mm	max. 10 mm
Timpul de priză:		
— început (ore)	min. 2	min. 2,5
— sfîrșit (ore)	max. 10	max. 12
Rezistența mecanică (daN/cm^2)		
— compresiune, după 7 zile	280	130
după 28 zile	400	230
— tracțiune, după 7 zile	25	12
după 28 zile	28	20
Căldura de hidratare după 7 zile (J/g)	max. 270	max. 190

În țara noastră sînt standardizate două tipuri de cimenturi hidrotehnice (STAS 3011-77): cimentul H 35, fără adaosuri și cimentul HZ 35 cu adaos de maxim 15% zgură de furnal.

Scanned with OKEN Scanner

8.6. CIMENT PORTLAND PENTRU DRUMURI

Cimenturile folosite pentru obținerea betoanelor rutiere trebuie să asigure acestora caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare solicitărilor complexe la care ele sînt expuse în exploatare. Principalele proprietăți ce se impun acestei categorii de cimenturi sînt : contracția redusă la întărire, permeabilitate mică, rezistență bună la încovoiere și șoc, modul de elasticitate ridicat, rezistență bună la gelivitate (îngheț-dezgheț). Hotărîtoare pentru aceste proprietăți este în bună parte compoziția mineralogică a cimentului.

Din punctul de vedere al comportării elastice, sub acțiunea sarcinilor variabile ca mărime și durată de aplicare, se comportă bine cimentul alitic, caracterizat prin modul de elasticitate ridicat. Un asemenea ciment prezintă însă contracții mari la întărire datorită caracterului pronunțat gelic în perioada inițială, al produșilor de hidratare pe care îi formează în cantități mari.

Pentru ca permeabilitatea cimentului întărit să fie mică și deci rezistența sa la gelivitate să fie bună, este necesar ca aluminatul tricalcic să aibă o pondere redusă în compoziția mineralogică a acestuia (sînt admisibile valori sub 8%).

Cercetările efectuate în acest domeniu au condus la constatarea că sînt indicate drept cimenturi pentru betoane rutiere, cimenturile feroportland normale sau feroportland alitice. Drepte caracteristici modulare optime pentru cimenturile rutiere se indică : M_{Si} — aproximativ 2, $M_{Al} = 0{,}4 \ldots 0{,}6$. Se pot folosi, cu bune rezultate, ca cimenturi de drumuri și cimenturile feroportland alitice cu adaosuri silicioase. Proporția acestora din urmă trebuie însă limitată, deoarece ele favorizează formarea prin hidratare de hidrocompuși gelici, cu consecințe negative asupra valorii contracției.

8.7. CIMENT DE SONDĂ

Cimentul de sonde este liantul utilizat la cimentarea găurilor de sondă. El trebuie să corespundă condițiilor de temperatură și presiune ridicate și să reziste la acțiunea apelor subterane — condiții diferite în funcție de adîncimea și particularitățile geologice ale sondelor.

Pastele de ciment de sondă trebuie să se caracterizeze printr-o bună *pompabilitate,* înțelegînd prin aceasta o fluiditate mare imediat după preparare și menținerea unei fluidități minime un anumit timp. Comportarea pastelor de ciment din acest punct de vedere este caracterizată prin *timpul de îngroșare,* care reprezintă intervalul de

Scanned with OKEN Scanner

timp după care consistența pastei crește, atingînd 100 poise (limită la care pasta nu mai este pompabilă). O pastă ușor pompabilă nu trebuie să aibă consistență mai mare de 30 poise. Pentru realizarea unor asemenea consistențe, pastele de ciment de sondă au raporte $a/c = 0{,}4 \ldots 0{,}7$.

Pentru realizarea cimentării în bune condiții prezintă importanță *timpul de priză* al cimentului. Acesta, ca și timpul de îngroșare, este influențat în măsură importantă de natura cimentului, precum și de condițiile de lucru din sondă — temperatură și presiune.

Impermeabilitatea pastei de ciment întărite constituie, de asemenea, o caracteristică importantă pentru cimenturile de sondă, date fiind condițiile specifice în care lucrează. Ea este condiționată atît de compoziția cimentului și granulometria sa, cît și de raportul *a/c* și de condițiile de temperatură și presiune.

Realizarea unei bune cimentări a găurilor de sondă este condiționată și de *adeziunea la rocă* a pietrei de ciment, care depinde de natura cimentului și prezența unor eventuale adaosuri, precum și de tehnologia de cimentare.

În ceea ce privește *rezistențele mecanice,* cimenturilor de sondă nu li se impun cerințe severe, ele fiind considerate corespunzătoare atunci cînd au rezistențe la compresiune de cel puțin 10 N/mm^2.

Proprietățile cimenturilor de sondă sînt influențate, așa cum s-a menționat, în măsură importantă de condițiile de temperatură și presiune ridicată în care sondele lucrează.

Influența temperaturii și presiunii ridicate trebuie corelate strîns cu compoziția mineralogică a cimentului, dată fiind comportarea mult diferită a constituenților mineralogici în asemenea condiții : în timp ce hidratarea silicatului tricalcic și a aluminatului tricalcic atinge viteze foarte mari în condițiile de tratament termic, pentru silicatul dicalcic procesul se desfășoară cu viteză moderată în asemenea condiții.

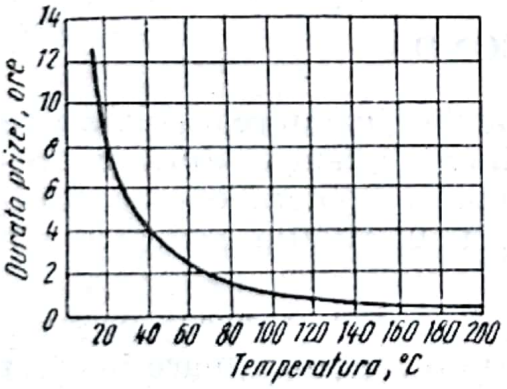


Fig. 8.4. Dependența timpului de priză de temperatura (la $p = 50$ at).

Intensificarea proceselor de hidratare are ca urmare scurtarea timpului de îngroșare și a timpului de priză al pastei de ciment ; efectul de reducere a timpului de priză este important în intervalul de temperaturi pînă la 100 °C, creșterea temperaturii peste această valoare influențîndu-l mai puțin (fig. 8.4).

Timpul de priză se reduce evident pentru presiuni ridicate. Tem-

Scanned with OKEN Scanner

peratura și presiunea ridicată împreună exercită deci o acțiune de reducere importantă asupra începutului și sfîrșitului de priză (fig. 8.5).

Scurtarea începutului de priză implică și reducerea timpului de îngroșare, cu consecințe negative asupra folosirii pastei de ciment.

Creșterea temperaturii pînă la 80—90 °C, accelerînd procesele de hidratare, influențează pozitiv rezistențele inițiale ale pietrei de ciment, rezistențele finale putînd fi însă afectate. Temperaturi mai mari de 100 °C pot determina reduceri ale rezistențelor mecanice, în funcție și de compoziția mineralogică a cimentului (v. fig. 8.6).

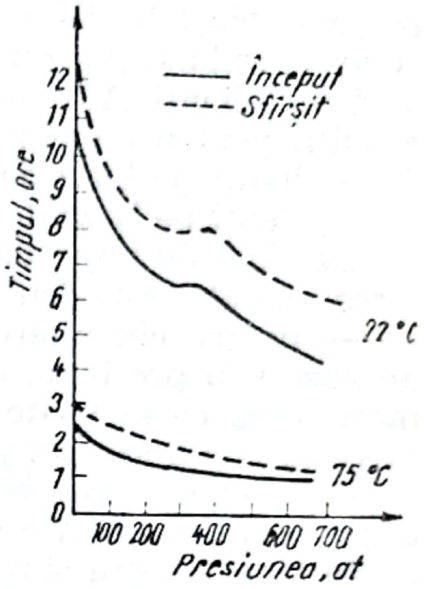


Fig. 8.5. Influența temperaturii și presiunii ridicate asupra timpului de priză.

Din cele arătate rezultă necesitatea unei judicioase corelări între compoziția mineralogică a cimentului și condițiile în care el va fi folosit. Astfel, pentru cimentarea sondelor „calde", caracterizate prin temperaturi ridicate, cimentul folosit nu trebuie să conțină mult C_3A (sub 8%) și C_3S (48—58%), care se hidratează cu viteză mare chiar în condiții normale. Cu atît mai mult, pentru sondele foarte adînci, se impune ca cimentul să conțină îndeosebi silicat dicalcic și ferit-aluminat tetracalcic și să fie aproape lipsit de C_3A (sub 3%).

La cimentarea sondelor de mare adîncime se pot folosi și cimenturi cu adaosuri hidraulic active sau chiar inerte — zguri de furnal sau nisip cuarțos. În condiții de temperatură și presiune ridicată, chiar și silicea din adaosurile inerte reacționează cu $Ca(OH)_2$ eliberat prin hidratarea cimentului, cu formare de hidrocompuși care contribuie la rezistența mecanică a liantului întărit.

Cercetări recente evidențiază posibilitatea obținerii unor lianți pentru cimentarea sondelor, în care cimentul portland să fie înlocuit parțial sau chiar eliminat. Astfel se comportă bine în condițiile sondelor adînci și lianți constînd din ciment portland și zguri metalurgice. Pentru cimentarea sondelor de adîncime mai mică (pentru care temperatura ajunge la aproximativ 100 °C) se menționează

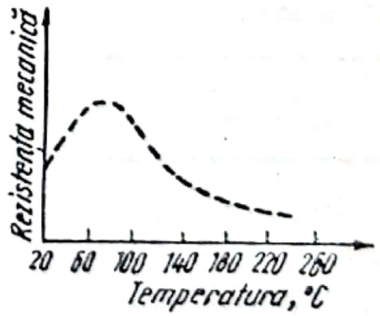


Fig. 8.6. Influența temperaturii asupra rezistenței mecanice a pietrei întărite de ciment de sondă.

Scanned with OKEN Scanner

posibilitatea folosirii cu bine rezultate a unui liant mixt, pe bază de ciment portland și cenușă de termocentrală (25—50%).

Drept lianți fără ciment portland, posibil a se utiliza în anumite condiții pentru cimentarea sondelor, au fost experimentați :

— lianți pe bază de zguri de furnal bazice și nisip cuarțos ;

— lianți pe bază de șlam belitic și adaosuri de nisip cuarțos.

Deosebit de importantă pentru pasta de ciment folosită la cimentarea sondelor este densitatea :

— pentru cimentarea sondelor la care se degajă un volum mare de gaze sub presiune, este indicat ca pasta să aibe o densitate mai mare, ceea ce se poate realiza prin adaosuri de argile grele, de cenușă de pirită sau prin folosirea unui ciment cu conținut de bariu ;

— la sondele cu presiune redusă sînt indicate paste de ciment cu densități mici, în care scop se pot folosi adaosuri de bentonită.

În țara noastră sînt standardizate trei tipuri de ciment de sondă (STAS 9253-73, STAS 1544-74) :

— cimentul S_1 — destinat sondelor cu adîncimi pînă la 3 200 m și agresivitate sulfatică redusă ;

— cimenturile S_2 și S_3 — destinate sondelor cu adîncimi de 2 500 m sau mai mari și agresivitate sulfatică moderată, respectiv ridicată.

Scanned with OKEN Scanner

9. CIMENTUL ALUMINOS

9.1. CHIMIA CIMENTULUI ALUMINOS

9.1.1. COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI MINERALOGICĂ A CIMENTULUI ALUMINOS

Cimentul aluminos este liantul hidraulic care se întărește rapid în aer și în apă și se obține prin arderea pînă la vitrifiere sau topire totală a unui amestec de materii prime calcaroase și aluminoase și măcinarea fină a produsului rezultat după ardere. Pentru prima dată cimentul aluminos a fost fabricat la scară industrială în Franța, la începutul secolului XX.

Spre deosebire de cimentul portland care constă în principal din silicați de calciu, cimentul aluminos conține îndeosebi aluminați de calciu puțin bazici.

Compoziția chimică a cimentului aluminos se caracterizează printr-un conținut ridicat de CaO și Al_2O_3, alături de care se găsesc cantități mici de oxizi de fier, SiO_2 și eventual alți oxizi — tabelul 9.1.

Cimenturile avînd un conținut de Al_2O_3 de pînă la 60% sînt cimenturi aluminoase obișnuite. Există și cimenturi superaluminoase, al căror conținut de oxid de aluminiu este mai mare de 60% (ajungînd chiar pînă la 80%), care se caracterizează prin proprietăți refractare deosebit de bune.

Limitele în care variază compoziția oxidică a cimentului aluminos fac posibilă considerarea

Tabelul 9.1

Componenți oxidici	Limite de compoziție
CaO	35—45 %
Al_2O_3	30—50 %
Oxizi de fier	5—15 %
SiO_2	4—15 %
TiO_2	1,5—2,5 %
MgO	0,1—1,5 %
SO_3	0—1,2 %
R_2O	0—1,0 %

Scanned with OKEN Scanner

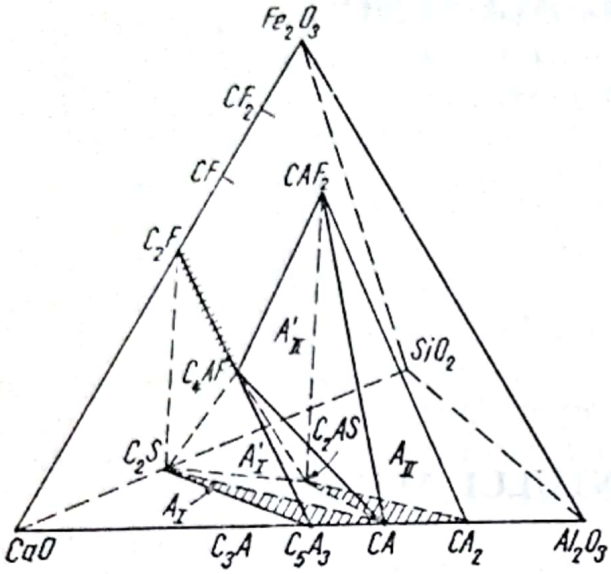


Fig. 9.1. Subsistemele de echilibru termic, caracteristice cimentului aluminos, în cadrul sistemului cuaternar $CaO—SiO_2—Al_2O_3—Fe_2O_3$.

acestuia ca făcînd parte din sistemul cuaternar $CaO—Al_2O_3—SiO_2—Fe_2O_3$, în cadrul căruia locul cimenturilor aluminoase este delimitat la 4 subsisteme care conțin aluminat monocalcic ca principal component (fig. 9.1) :

— subsistemul AI — $CA—C_{12}A_7—C_2S—C_4AF$;

— subsistemul AI′ — $CA—C_2AS—C_2S—C_4AF$;

— subsistemul AII — $CA—CA_2—C_2AS—CAF_2$;

— subsistemul AII′ — $CA—C_2AS—C_4AF—CAF_2$.

Componentul mineralogic principal al cimentului aluminos este *aluminatul monocalcic* — $CaO \cdot Al_2O_3$, care se prezintă sub formă de cristale prismatice, incolore, imprimînd clincherului de ciment aluminos o structură lamelară, fibroasă. Aluminatul monocalcic se caracterizează prin proprietăți hidraulice bune, reacționează ușor cu apa și conferă cimentului aluminos întărit rezistențe mecanice bune.

Alături de aluminat monocalcic, cimentul aluminos conține și aluminați de tipul $12\,CaO \cdot 7\,Al_2O_3$ ($5\,CaO \cdot 3\,Al_2O_3$) și $CaO \cdot 2\,Al_2O_3$. Dintre aceștia, compusul $C_{12}A_7$ se caracterizează printr-o bună reactivitate față de apă, contribuind la întărirea rapidă a cimentului aluminos, în timp ce compusul CA_2 reacționează lent cu apa, dar este important pentru proprietățile refractare ale cimentului aluminos.

Silicatul dicalcic — $2\,CaO \cdot SiO_2$ reprezintă constituentul în care se leagă o bună parte din SiO_2. Prin proprietățile sale liante, silicatul dicalcic contribuie la asigurarea unor rezistențe mecanice bune la termene mari de întărire. Ponderea sa în acest liant este însă limitată datorită influenței negative pe care o poate avea asupra refractarității.

Gehlenitul — $2\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ constituie unul din compușii în care apare legat o parte din SiO_2 în cimentul aluminos. Din punct de vedere hidraulic, el este aproape inert, ceea ce face ca cimenturile aluminoase în care apare acest compus să fie de calitate inferioară.

În compușii cu fier — $4\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ și $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2\,Fe_2O_3$ se leagă oxizii de fier aduși de materiile prime. Ei se caracterizează

Scanned with OKEN Scanner

prin proprietăți hidraulice mai slabe în comparație cu aluminații, contribuind la rezistențele mecanice la perioade mai mari de întărire (îndeosebi compusul C_4AF).

În cimenturile superaluminoase, în care dioxidul de siliciu și oxizii de fier intră în cantități foarte reduse sau practic lipsesc, componenții mineralogici care apar constau din aluminați de calciu — îndeosebi $CaO \cdot Al_2O_3$ și $CaO \cdot 2\ Al_2O_3$.

Alături de acești constituenți cristalini, cimentul aluminos mai poate conține cantități variabile de *fază vitroasă,* în funcție de condițiile de răcire. Faza vitroasă prezintă în general, proprietăți hidraulice mai slabe decît componenții cristalini.

Date fiind proprietățile mult diferite ale constituenților cimentului aluminos, se poate aprecia că cimenturile aluminoase de bună calitate sînt cele aparținînd subsistemului AI din sistemul cuaternar $CaO—Al_2O_3—SiO_2—Fe_2O_3$. Cimenturile aluminoase din subsistemul AII pot fi considerate bune din punctul de vedere al rezistențelor finale, însă prezintă rezistențe inițiale mici datorită hidratării lente a compușilor CA_2 și CAF_2. În aceste cimenturi, o parte din Al_2O_3 este legată sub forma compusului foarte puțin activ — gehlenitul. În subsistemele AI′ și AII′ sînt conținute cimenturi de calitate necorespunzătoare, datorită faptului că o bună parte din SiO_2 — în cazul subsistemului AI′, sau întreaga cantitate de SiO_2 — în cazul subsistemului AII′, este blocată sub forma compusului slab hidraulic — C_2AS. Subsistemul AII′ trebuie practic evitat.

9.1.2. DEFINIREA MODULARĂ A CIMENTULUI ALUMINOS

Cimentul aluminos poate fi caracterizat, ca și cimentul portland, cu ajutorul modulilor. Sînt caracteristici pentru cimentul aluminos următorii moduli : gradul de saturare în calce, modulul de alumină și modulul feric.

Gradul de saturare în calce reprezintă raportul între conținutul de CaO din ciment și cantitatea de oxid de calciu necesară saturării oxizilor acizi (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3). Pentru cele două tipuri de ciment aluminos, AI și AII, gradul de saturare în calce se deduce diferențiat, după cum urmează :

— *Pentru cimenturile aluminoase de tip AI* se consideră saturarea SiO_2, Al_2O_3 și Fe_2O_3 la compușii : C_2S, CA, C_4AF. Ca urmare, rezultă :

$$S_{K(I)} \frac{\%\ CaO}{1{,}86\%\ SiO_2 + 0{,}55\%\ Al_2O_3 + 1{,}06\%\ Fe_2O_3}$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru ca un ciment aluminos să se plaseze în subsistemul AI ($CA—C_2S—C_5A_3—C_4AF$), $S_{K(I)}$ trebuie să fie mai mare ca 1.

— *Pentru cimenturile aluminoase de tip AII* se consideră saturarea cu CaO a SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, la compușii : CA, C_2AS, CAF_2. Se ajunge la următoarea relație a gradului de saturare :

$$S_{K(II)} \frac{\%\ CaO}{0{,}93\%\ SiO_2 + 0{,}55\%\ Al_2O_3}$$

Un ciment aluminos de tip AII se încadrează în subsistemul $CA—C_2AS—CA_2—CAF_2$ atunci cînd $S_{K(II)}$ este mai mic decît 1.

Modulul de alumină reprezintă raportul între cantitatea de Al_2O_3 și SiO_2 din ciment :

$$M_{Al} \frac{\%\ Al_2O_3}{\%\ SiO_2}$$

Este indicat ca modulul de alumină să aibe valori mai mari, deoarece aceasta înseamnă un conținut mare de aluminați, care conferă cimentului proprietăți hidraulice bune.

Modulul feric reprezintă raportul între conținutul de Al_2O_3 și Fe_2O_3 din ciment și exprimă de fapt ponderea pe care o au compușii cu Fe_2O_3, mai puțin activi din punct de vedere hidraulic :

$$M_{Fe} \frac{\%\ Al_2O_3}{\%\ Fe_2O_3}$$

9.1.3. PROCESE FIZICO-CHIMICE LA OBȚINEREA CIMENTULUI ALUMINOS

La arderea amestecului de materii prime format din bauxită și calcar au loc o serie de procese fizico-chimice care conduc în final la obținerea clincherului sau topiturii de ciment aluminos.

Inițial, la temperaturi relativ joase (pînă la aprox. 600 °C) are loc uscarea și deshidratarea materiilor prime. Dat fiind faptul că bauxita constă în principal din alumină hidratată — hidrargilit ($Al(OH)_3$), boehmit și diaspor ($AlO(OH)$), rezultă că reacțiile de deshidratare intervin cu o pondere mare în totalitatea proceselor care au loc la ardere.

La temperaturi mai mari (850—950 °C) are loc decarbonatarea calcarului și încep unele reacții de formare a compușilor mineralogici. Primul care se formează este aluminatul monocalcic. La temperaturi mai ridicate (1 000—1 200 °C) se formează $CaO \cdot 2\,Al_2O_3$ și respectiv $12\,CaO \cdot 7\,Al_2O_3$ (ultimul chiar la peste 1 200 °C). Compușii conținînd Fe_2O_3 se formează la temperaturi mai mari de 1 200 °C.

Scanned with OKEN Scanner

Compușii mineralogici din cimentul aluminos se formează în cea mai mare parte prin reacții în fază solidă. Faza lichidă apare la temperaturi peste 1 200 °C și ea determină intensificarea proceselor de formare a constituenților mineralogici.

9.1.4. ÎNTĂRIREA CIMENTULUI ALUMINOS

Întărirea cimentului aluminos este rezultatul proceselor de hidratare a compușilor săi mineralogici, cu formarea, în principal, de hidroaluminați de calciu.

Întrucît componentul mineralogic principal este aluminatul monocalcic, în primele faze ale hidratării se vor forma hidrocompuși de tipul $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10\ H_2O$. În timp și în condiții de temperatură mai mare de 20 °C, hidroaluminatul monocalcic evoluează către compuși mai bazici, de forma $2\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8\ H_2O$ care, dată fiind bazicitatea redusă a sistemului ciment aluminos-apă, în condiții normale de temperatură și presiune, sînt stabili mult timp. La temperaturi de 35—40 °C sau într-un mediu conținînd $Ca(OH)_2$, ei se transformă ușor în hidroaluminat tricalcic — $3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O$. Procesele chimice care au loc pot fi reprezentate prin reacțiile :

$$CaO \cdot Al_2O_3 + 10\ H_2O \xrightarrow{20\ ^\circ C} CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10\ H_2O \xrightarrow{20\ ^\circ C} \xrightarrow{20\ ^\circ C} 2\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8\ H_2O \xrightarrow[Ca(OH)_2]{35-40\ ^\circ C} 3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O + Al_2O_3 \cdot n\ H_2O$$

Procesul de transformare a hidroaluminaților mai puțin bazici în hidroaluminatul tricalcic constituie cauza principală a scăderii rezistenței mecanice ale cimentului aluminos în timp. Luînd în considerație aluminații de calciu care apar în cimentul aluminos — CA, $C_{12}A_7$, CA_2 — scăderea rezistențelor mecanice după perioade mari de întărire este mai importantă la compușii mai bazici (fig. 9.2).

Această comportare se explică prin faptul că în procesul de hidratare se formează, pe lîngă hidroaluminați de calciu și cantități variabile de hidroxid de aluminiu — cu atît mai mari cu cît aluminatul care reacționează cu apa este mai puțin bazic. Hidroxidul de aluminiu este inițial gelic, dar ulterior cristalizează, contribuind la formarea structurii de

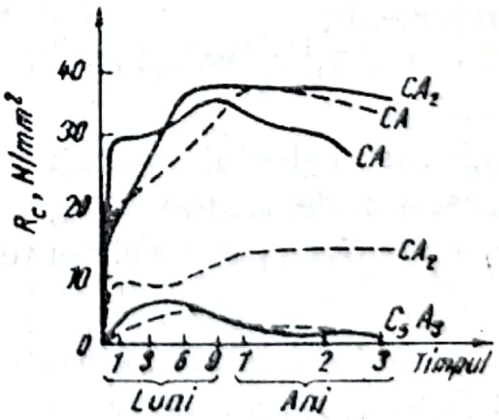


Fig. 9.2. Variația în timp a rezistențelor mecanice ale aluminaților de calciu, întărirea realizîndu-se în apă, la temperatura de : ——— 15—18 °C ; - - - - 45 °C.

Scanned with OKEN Scanner

rezistență și compensînd deci, scăderea provocată de transformarea hidroaluminaților.

În afară de hidroaluminați de calciu și hidroxid de aluminiu, la întărirea cimentului aluminos se mai formează cantități reduse de hidrosilicați de calciu rezultați prin hidratarea silicatului dicalcic.

9.2. FABRICAREA CIMENTULUI ALUMINOS

9.2.1. CALCULUL AMESTECULUI DE MATERII PRIME

Materiile prime utilizate pentru obținerea cimentului aluminos sînt bauxita (alumina calcinată) și calcarul.

Pentru calculul compoziției amestecului brut se procedează asemănător ca la calculul amestecului brut din doi componenți pentru clincherul de ciment portland.

Se consideră egală cu unitatea participarea în amestec a unuia din componenți și cu x — participarea celuilalt. Cunoscînd compoziția oxidică a materiilor prime, se poate scrie pentru amestecul brut :

$$C_0 = \frac{C_1 + xC_2}{1+x}; \quad S_0 = \frac{S_1 + xS_2}{1+x}; \quad A_0 = \frac{A_1 + xA_2}{1+x}; \quad F_0 = \frac{F_1 + xF_2}{1+x};$$

în care C_1, S_1, A_1, F_1 reprezintă conținutul în CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 al primului component ;

— C_2, S_2, A_2, F_2 — conținutul în aceiași oxizi pentru al doilea component ;

— C_0, S_0, A_0, F_0 — conținutul în CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 al amestecului brut.

Pentru calculul mărimii x se ia în considerație relația de definire a gradului de saturare $S_{K(I)}$ pentru cimenturile aluminoase de tip AI, respectiv $S_{K(II)}$ pentru cimenturile de tip AII .

$$S_{K(I)} = \frac{C_0}{1{,}86\,S_0 + 0{,}55\,A_0 + 1{,}06\,F_0} = \frac{C_1 + xC_2}{1{,}86\,(S_1 + xS_2) + 055\,(A_1 + xA_2) + 0{,}55\,(F_1 + xF_2)},$$

de unde rezultă :

$$x = \frac{C_1 - S_{K(I)}\,(1{,}86\,S_1 + 0{,}55\,A_1 + 1{,}06\,F_1)}{S_{K(I)}\,(1{,}86\,S_2 + 0{,}55\,A_2 + 1{,}06\,F_2) - C_2}$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru cimenturile de tip AII, printr-un calcul similar se ajunge la expresia :

$$x = \frac{C_1 - S_{K(II)}(0{,}93\,S_1 + 0{,}55\,A_1)}{S_{K(II)}(0{,}93\,S_2 + 0{,}55\,A_2) - C_2}$$

Cunoscînd compoziția, în părți gravimetrice, a amestecului de materii prime, se calculează în continuare compoziția oxidică a acestuia și modulii. Dacă valorile obținute pentru modulii de alumină sau(și) feric nu corespund celor impuse pentru cimentul aluminos ce urmează a se fabrica, trebuie înlocuită bauxita sau folosit un al treilea component al amestecului, pentru corecție.

9.2.2. PREPARAREA ȘI ARDEREA AMESTECULUI BRUT

9.2.2.1. **Procedee de preparare și de ardere a amestecului de materii prime.** Amestecul brut pentru cimentul aluminos se prepară de regulă în stare uscată, după o tehnologie asemănătoare celei de preparare a făinii brute pentru clincherul de ciment portland.

În funcție de tipul instalației de ardere, amestecul de materii prime se poate arde și sub formă de granule sau brichete.

Procedeele de ardere a amestecului de materii prime pentru cimentul aluminos pot fi grupate în două categorii :

— procedee de obținere independentă a clincherului de ciment aluminos — prin vitrifierea sau topirea amestecului de materii prime ;

— procedee de obținere a clincherului de ciment aluminos (prin vitrifierea sau topirea amestecului brut), concomitent cu obținerea altor produse, în cadrul unor tehnologii complexe.

9.2.2.2. **Instalații de ardere a amestecului de materii prime pentru cimentul aluminos.** Dintre procedeele de *obținere independentă a cimentului aluminos,* cele utilizate cu precădere încă de la începutul fabricării acestui liant și în prezent, presupun topirea amestecului de materii prime în instalații de diferite tipuri, în care se realizează temperaturi de 1 500—1 600 °C (sau chiar mai mari).

Procedeul de obținere a cimentului aluminos prin topirea amestecului de materii prime este aplicabil în cazul folosirii unor materii prime cu conținut relativ mare de oxizi de fier (mai mult de 4—5%), care determină o scurtare a intervalului de topire a amestecului brut și ca urmare, vitrifierea se realizează dificil (apar inele de lipitură, obturări în instalația de ardere).

Pentru obținerea cimentului aluminos topit se pot utiliza ca agregate de ardere : cubilouri, cuptoare tip vană, cuptoare electrice.

Scanned with OKEN Scanner

Cubilourile sînt cuptoare verticale, cu secțiune circulară, în care amestecul de materii prime împreună cu cocs, se introduc pe la partea superioară, iar pe la partea inferioară se insuflă aer preîncălzit (în recuperatoare). În timp, amestecul de materii prime coboară în cuptor, au loc o serie de transformări fizico-chimice în conformitate cu regimul termic din cuptor : la început — deshidratarea și decarbonatarea constituenților amestecului brut, urmate de reacțiile de formare a compușilor mineralogici și, în cele din urmă, topirea completă care are loc la baza cuptorului.

În ultimul timp, aceste agregate au fost înlocuite tot mai mult cu *cuptorul vană,* care constă din două agregate : un cuptor vertical în care se alimentează materiile prime și combustibilul și un bazin (vană) în care se colectează topitura de ciment aluminos.

În cuptorul vertical au loc succesiv procesele de deshidratare, decarbonatare și formare a constituenților mineralogici ai cimentului aluminos. Topitura de ciment aluminos se formează la partea inferioară a cuptorului vertical, în zona de trecere între acesta și vană, unde este colectată. Din vană, topitura se extrage și se toarnă în forme, în care se răcește. O asemenea instalație poate produce aproximativ pînă la 70 tone ciment pe zi.

Utilizarea *cuptoarelor electrice cu arc* pentru topirea amestecului de materii prime pentru cimentul aluminos presupune un consum mare de energie electrică (1 200—1 400 kWh/t ciment). În asemenea instalații încălzirea se face cu ajutorul arcului electric format între doi electrozi de grafit. Utilizarea lor presupune uscarea și decarbonatarea anterioară a materiilor prime, pentru a se evita degajarea puternică de gaze și antrenarea de către acestea a unei părți din material. În acest scop, instalațiile electrice cu arc este indicat să fie prevăzute și cu un cuptor vertical în care amestecul de materii prime se preîncălzește la aproximativ 1 000 °C, realizîndu-se astfel deshidratarea și decarbonatarea.

Obținerea cimentului aluminos sub formă de clincher este posibilă la temperaturi mai joase (1 200—1 400 °C), însă pentru ca reacțiile de formare a compușilor mineralogici să se desăvîrșească, se impune o staționare mai îndelungată la temperatura maximă, a materialului supus arderii. Ca agregate de ardere se pot folosi : cuptoare rotative, cuptoare tunel sau instalații tip grătar conveier.

Obținerea cimentului aluminos simultan cu alte produse asigură valorificarea cît mai eficientă și a unor materii prime de calitate inferioară și folosirea mai rațională a energiei. Acestea au consecințe pozitive asupra costului cimentului. S-au făcut încercări cu bune rezultate, de obținere a cimentului aluminos alături de fontă, aliaj ferosiliciu etc.

Scanned with OKEN Scanner

Folosindu-se bauxite cu conținut ridicat de oxizi de fier sau minereu de fier bogat în Al_2O_3, s-a putut obține în furnale, o zgură de compoziție apropiată cu aceea a cimentului aluminos. S-au obținut, de asemenea, cimenturi aluminoase alături de aliajul ferosiliciu, pornindu-se de la minereu de fier bogat în Al_2O_3 și SiO_2, prin ardere în condiții reducătoare.

În procesul de obținere a cimentului aluminos, de o deosebită importanță este viteza de răcire a topiturii. Aceasta influențează sensibil compoziția fazală și structura clincherului, de care depinde în măsură importantă calitatea cimentului. S-a constatat că prin răcirea rapidă, proprietățile hidraulice ale cimentului aluminos sînt diminuate, ca urmare a faptului că apare în clincher o cantitate mai mică de aluminați și silicat dicalcic cristalin — consecință a formării unei proporții mai mari de fază vitroasă. Din această cauză apare indicată răcirea moderată a clincherului sau topiturii de ciment aluminos.

9.2.3. MĂCINAREA CIMENTULUI ALUMINOS

Întrucît clincherul de ciment aluminos este mai dur decît clincherul de ciment portland, măcinarea lui se face mai greu, cu un consum mai mare de energie (80—110 kWh/t). Introducerea unor adaosuri cu scopul de a facilita procesul de măcinare, nu s-a dovedit eficientă. Pentru a îmbunătăți condițiile de funcționare a morilor de ciment aluminos este indicată concasarea anterioară a clincherelor la dimensiuni mai mici.

Cimentul aluminos se macină de regulă la o finețe corespunzătoare unui reziduu pe sita cu ochiuri de 90 μm cuprins între 4 și 14%, sau unei suprafețe specifice de 2 200—2 900 cm^2/g. Finețea de măcinare se impune a fi corelată cu compoziția chimică a clincherului, conținutul său în oxid de calciu ; clincherele mai bazice nu trebuie măcinate prea fin, deoarece procesul de priză este astfel mult accelerat, în timp ce clincherele cu mai puțin CaO este bine să se macine mai fin pentru ca priza să nu fie prea lentă.

9.3. PROPRIETĂȚILE CIMENTULUI ALUMINOS. DOMENII DE UTILIZARE

9.3.1. PROPRIETĂȚILE CIMENTULUI ALUMINOS

Cimentul aluminos se prezintă ca o pulbere de culoare variind de la cenușiu deschis la negru, în funcție de compoziția materiilor prime și de condițiile de ardere. Densitatea variază între 3 și

Scanned with OKEN Scanner

3,25 g/cm³, iar greutatea volumică în vrac este de 10 000—13 000 N/m³, pentru ciment în stare afînată și 16 000—18 000 N/m³ — pentru ciment în stare compactă.

Apa de consistență normală. Pentru pasta de ciment aluminos, apa de consistență normală este întrucîtva mai mare decît pentru ciment portland, valoarea ei fiind 23—28%, iar uneori ajungînd chiar la 32% ; acesta se explică prin faptul că compușii mineralogici din cimentul aluminos se hidratează mai intens, formînd produși hidratați cu un conținut mai mare de apă.

Pentru asigurarea umidității necesare hidratării totale a cimentului aluminos se impune păstrarea sa în mediu umed, o anumită perioadă de timp, după punerea în lucru ca mortar sau beton.

Timpul de priză. Timpul de priză al cimentului aluminos este apropiat de acela al cimentului portland și se caracterizează prin începutul prizei după 0,5—3 ore și sfîrșitul prizei după 3,5—5,5 ore. Priza poate fi accelerată de creșterea temperaturii peste 30 °C, sau de adaosuri de Na_2CO_3, $NaHCO_3$, $CaSO_4$, $FeSO_4$, H_2SO_4 — introduse în apa de amestecare. Adaosuri de NaCl, KCl, $CaCl_2$, $BaCl_2$, HCl pot acționa fie ca acceleratori, fie ca întîrzietori ai prizei, în funcție de cantitatea în care sînt prezenți în sistemul ciment aluminos—apă.

Rezistența mecanică. Cimentul aluminos se caracterizează printr-o creștere rapidă a rezistențelor mecanice (fig. 9.3) : după o zi de întărire, rezistența cimentului aluminos poate ajunge la 80—90% din rezistența la 28 zile ; după 3 zile, rezistențele cimentului aluminos cresc foarte încet, ceea ce face ca marca sa să fie dată de valoa-

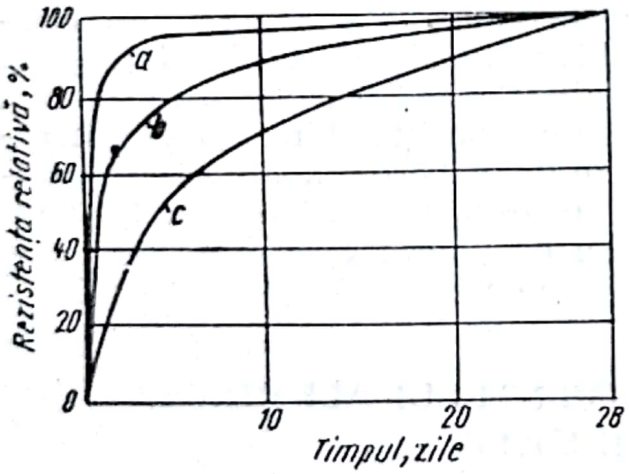


Fig. 9.3. Creșterea în timp a rezistențelor mecanice pentru :
a — ciment aluminos; *b* — ciment RIM; *c* — ciment portland.

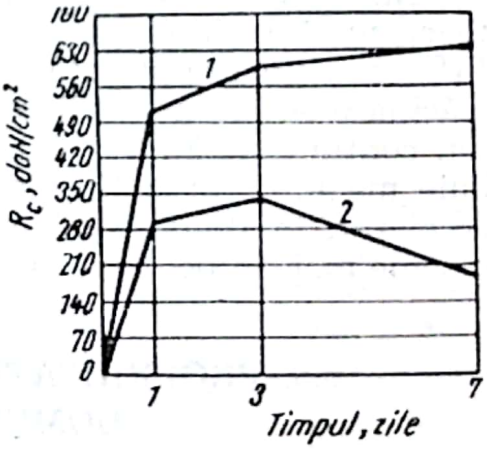


Fig. 9.4. Influența temperaturii de păstrare asupra rezistenței betonului de ciment aluminos :
1 — păstrare în apă la 16 °C; *2* — păstrare în apă la 35 °C

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.2

Marca cimentului	Rezistența mecanică, daN/cm²			
	Compresiune		Tracțiune	
	24 ore	3 zile	24 ore	3 zile
400	200	400	35	55
500	275	500	40	60
600	350	600	45	65

rea rezistenței mecanice determinată după 3 zile de întărire, pe mortare de consistență plastică, avînd raportul ciment/nisip = 1/2. Spre exemplificare se prezintă în tabelul 9.2 evoluția rezistențelor mecanice după perioade scurte de întărire, pentru cimenturi aluminoase de mărci diferite.

După perioade de timp mai mari, rezistențele cimentului aluminos prezintă variații discontinue — cu creșteri și scăderi succesive la anumite intervale de timp, ca urmare a transformărilor ce au loc în natura produșilor de hidratare. Uneori, după intervale de timp foarte mari s-au înregistrat scăderi importante de rezistență pentru betoanele de ciment aluminos, ceea ce a făcut ca folosirea acestuia în zone cu climă umedă și temperaturi ridicate să fie limitată.

Din punctul de vedere al rezistențelor mecanice, cimentul aluminos se comportă bine în condițiile unor clime uscate și reci, sau chiar în condiții umede, la temperaturi de maxim 18—20 °C. Scăderile de rezistență devin importante îndeosebi la temperaturi mai mari de 25—30 °C — fig. 9.4. Aceasta impune obligatoriu luarea unor măsuri speciale de îndepărtare a căldurii ce se degajă prin hidratare, de evitare a uscării betonului de ciment aluminos.

În condiții de temperatură scăzută, rezistențele mecanice ale cimentului aluminos suferă unele scăderi ; astfel la 5 °C se înregistrează scăderi de aproximativ 10—20% față de rezistența la temperatură normală. Datorită exotermicității sale mari însă, cimentul aluminos se poate întări și atinge rezistențe mecanice corespunzătoare și la temperaturi de 0—2 °C (tabelul 9.3).

Proprietățile de rezistență mecanică ale cimenturilor aluminoase sînt influențate de compoziția și finețea lor de măcinare. În fig. 9.5 este prezentată, în diagramă modulară bidimensională, dependența rezistențelor mecanice de compoziția cimentului aluminos.

Constanța de volum. Cimentul aluminos prezintă variații mici de volum în cursul întăririi, deoarece nu conține CaO liber.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.3

Cimentul	Timpul de întărire zile	Rezistența la compresiune (daN/cm²), în condiții de:		
		Temperatură normală (18 °C)	Temperatură scăzută (2 °C)	Temperatură ridicată (35 °C)
Portland	1	32	—	101
	3	115	29	172
	7	188	73	224
	28	290	267	293
Aluminos	1	400	149	298
	3	513	447	358
	7	537	513	179
	28	596	565	149

Căldura de hidratare. Cimentul aluminos degajă, în procesul de întărire după perioade scurte de timp, o cantitate de căldură apropiată ca valoare de aceea a cimentului portland cu rezistențe inițiale mari ; hidratarea mai rapidă a cimentului aluminos conferă însă o intensitate mai mare procesului de degajare a căldurii

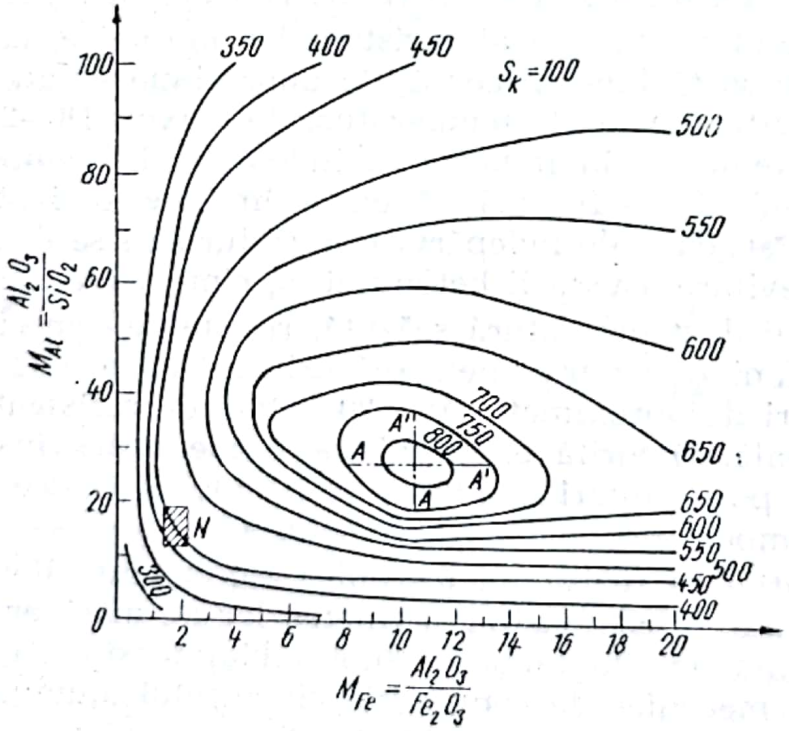


Fig. 9.5. Curbe de echirezistență la compresiune, în diagramă modulară bidimensională.

Scanned with OKEN Scanner

(v. fig. 9.6) ; după o zi de întărire, cimentul aluminos degajă aproximativ 70—80 % din cantitatea totală de căldură eliberată prin hidratare.

Degajarea intensă de căldură la întărirea cimentului aluminos face posibilă folosirea sa în lucrări de betonare chiar în anotimpul rece (la temperaturi sub 0 °C). În anotimpurile calde însă, aceasta constituie un impediment, deoarece, dacă nu se asigură îndepărtarea imediată a căldurii din betonul în curs de întărire, poate provoca supraîncălzirea acestuia peste temperatura critică (30—35 °C), cu consecințe negative asupra rezistențelor mecanice.

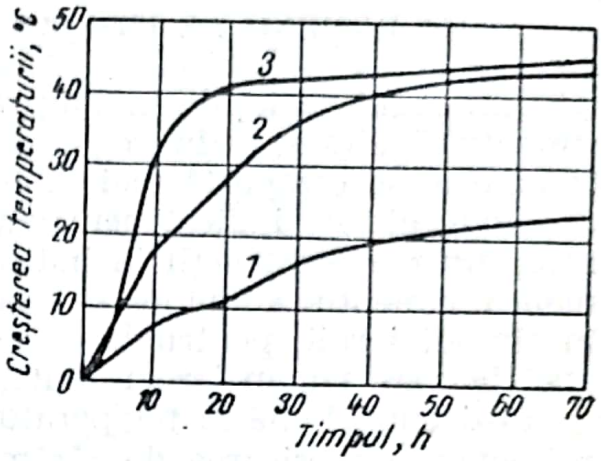


Fig. 9.6. Creșterea temperaturii la întărirea betoanelor pe bază de :
1 — ciment portland; *2* — ciment RIM; *3* — ciment aluminos.

Rezistența la coroziune. Cimentul aluminos se caracterizează printr-o stabilitate chimică mai bună decît cimentul portland, ca urmare a compoziției sale mineralogice diferită de a acestuia din urmă. Lipsa din piatra de ciment aluminos a $Ca(OH)_2$ liber și existența $Al(OH)_3$ (puțin solubil) și a hidroaluminaților de calciu puțin bazici, conferă betoanelor de ciment aluminos o rezistență bună față de acțiunea corosivă a sulfaților, apei de mare și a oricăror ape mineralizate sau nemineralizate, în general.

Cimentul aluminos este, de asemenea, mai stabil decît cimentul portland față de acțiunea apelor impurificate cu substanțe organice — crezoli, fenoli, acizi grași etc.

Față de acțiunea alcaliilor, îndeosebi ca soluții concentrate, ca și față de acizii concentrați, cimentul aluminos este puțin stabil.

Stabilitatea termică și refractaritatea. Cimentul aluminos rezistă bine la temperaturi ridicate, neprezentînd scăderi de rezistență periculoase, pentru temperaturi de pînă la 1 400 °C. Această comportare este conferită cimentului aluminos de conținutul ridicat în oxid de aluminiu și, de asemenea, de faptul că hidroaluminații ce se formează în piatra de ciment pierd apa treptat pînă la aproximativ 900 °C, fără ca aceasta să afecteze în măsură importantă rezistențele mecanice.

Refractaritatea cimentului aluminos este cu atît mai bună, cu cît aluminații de calciu care intră în compoziția sa sînt mai puțin bazici, deci cu cît este mai mare conținutul de Al_2O_3.

Scanned with OKEN Scanner

9.3.2. DOMENII DE UTILIZARE A CIMENTULUI ALUMINOS

Date fiind variațiile în timp ale rezistențelor mecanice, folosirea cimentului aluminos în construcții este limitată numai la lucrările în care el se comportă mai bine decît cimentul portland. Așa de exemplu, el este indicat pentru unele lucrări subterane și hidrotehnice, diverse construcții în industria chimică și alimentară. De asemenea, cimentul aluminos se poate folosi pentru lucrări de betonare în timpul iernii, pentru betoane simple și armate, supuse acțiunii apei de mare sau apelor sulfatate.

Rezistența bună la temperaturi ridicate îl face utilizabil ca liant refractar la fabricarea de cărămizi sau blocuri refractare, pentru construirea platformelor sau repararea cuptoarelor tunel.

9.4. APLICAȚII

A. Pentru fabricarea unui ciment aluminos de tip AI, avînd $S_K = 1{,}12$, se utilizează calcar și bauxită cu următoarele compoziții chimice :

	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Alți oxizi	P.c.
Calcar	54,11%	1,01%	0,40%	0,23%	1,80%	42,52%
Bauxită	2,38%	6,20%	57,57%	18,11%	2,20%	13,30%

Să se determine :

a) compoziția oxidică a amestecului de materii prime ;
b) caracteristicile modulare ale amestecului brut ;
c) compoziția oxidică a cimentului aluminos rezultat.

Răspunsuri :

a) $x = 0{,}762 \longrightarrow$ calcar = 56,754% și bauxită = 43,246% ;
$C_0 = 31{,}74\%$; $S_0 = 3{,}25\%$; $A_0 = 25{,}12\%$; $F_0 = 7{,}96\%$; alți oxizi = 1,97% ;
P.c. = 29,88% ;
b) $M_{Al} = 7{,}72$; $M_{Fe} = 3{,}15$;
c) 4,64% SiO_2 ; 45,26% CaO ; 35,83% Al_2O_3 ; 11,35% Fe_2O_3.

B. Se consideră hidratarea aluminatului monocalcic conform reacției :

$$CaO \cdot Al_2O_3 + 10\ H_2O \longrightarrow CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10\ H_2O$$

și transformarea parțială (în proporție de 90%) a hidroaluminatului monocalcic în compusul $2\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8\ H_2O$, după o reacție de forma :

$$2\ (CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10\ H_2O) \longrightarrow 2\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8\ H_2O + 2\ (Al(OH)_3) + 9\ H_2O$$

Scanned with OKEN Scanner

Să se determine :

a) cantităţile de hidroaluminaţi mono- şi dicalcic ce se formează prin hidratarea unui kg de aluminat monocalcic ;

b) compoziţia procentuală în CAH_{10}, C_2AH_8 şi $Al(OH)_3$ a produsului de reacţie uscat ;

c) compoziţia chimică procentuală (CaO, Al_2O_3, H_2O) a celor doi hidroaluminaţi de calciu.

Rezolvare :

a) 156 g CA ... 338 g CAH_{10}

1 000 g ... x $\qquad x = 2\,139$ g $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10\,H_2O$

2×338 g CAH_{10} ... 358 g C_2AH_8 ... 2×78 g $Al(OH)_3$

$2\,139 \times 0{,}90$ ..... x ..... y

$x = 1\,019{,}5$ g $2\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8\,H_2O$

$y = 444{,}25$ g $Al(OH)_3$

b) $(2\,139 - 2\,139 \times 0{,}9)$g $CAH_{10} + 1\,019{,}5$ g $C_2AH_8 + 444{,}25$ g $Al(OH)_3 = 1\,677{,}65$ g

1 677,65 g ... 213,9 g CAH_{10} ... 1 019,5 g C_2AH_8 ... 444,25 g $Al(OH)_3$

100 g ..... x ..... y ..... z

$x = 12{,}75\%$ CAH_{10} ; $y = 60{,}77\%$ C_2AH_8 ; $z = 26{,}48\%$ $Al(OH)_3$

c) 338 g CAH_{10} ... 56 g CaO ... 102 g Al_2O_3 ... 180 g H_2O

100 g CAH_{10} ..... x ..... y ..... z

$x = 16{,}57\%$ CaO ; $y = 30{,}18\%$ Al_2O_3 ; $z = 53{,}25\%$ H_2O

358 g C_2AH_8 ... 112 g CaO ... 102 g Al_2O_3 ... 144 g H_2O

100 g C_2AH_8 ..... x ..... y ..... z

$x = 31{,}28\%$ CaO ; $y = 28{,}49\%$ Al_2O_3 ; $z = 40{,}22\%$ H_2O

C. Se consideră un amestec brut pentru ciment aluminos de tip AI, format din 58,2% calcar şi 41,8% bauxită, ale căror compoziţii chimice sînt următoarele :

	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Alţi oxizi	P.c.
Calcar	52,15%	3,95%	1,32%	0,63%	0,88%	41,07%
Bauxită	3,02%	8,02%	59,42%	12,99%	3,36%	13,19%

Să se determine :

a) compoziţia chimică a amestecului de materii prime ;

b) caracteristicile modulare ale amestecului brut.

Răspunsuri :

a) 31,61% CaO ; 5,65% SiO_2 ; 25,60% Al_2O_3 ; 5,80% Fe_2O_3 ; 1,91% ; Alţi oxizi ; 29,41% pierdere la calcinare ;

Scanned with OKEN Scanner

b) $S_{K(I)}=1{,}03$; $M_{Al}=4{,}53$; $M_{Fe}=4{,}41$.

D. Se consideră un ciment aluminos avînd un conținut de aluminat monocalcic ($CaO \cdot Al_2O_3$) de 42%. La amestecarea cimentului cu apa, aluminatul monocalcic se hidratează cu formare de CAH_{10}.

Să se determine :

a) cantitatea de hidroaluminat monocalcic formată prin hidratarea totală a 5 kg de ciment aluminos ;

b) cantitatea de hidroaluminat de tip $2\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8\,H_2O$ și $Al(OH)_3$ ce rezultă prin transformarea totală a hidroaluminatului format la punctul a.

Răspunsuri :

a) 4,49 kg $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10\,H_2O$;

b) 2,38 kg $2\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8\,H_2O$; 1,04 kg $Al(OH)_3$.

Scanned with OKEN Scanner

10. CIMENTURI CU ADAOSURI

10.1. CIMENTURI CU CONȚINUT DE ZGURI DE FURNAL

Prin folosirea zgurilor de furnal, alături de materiale care pot activa întărirea acestora, este posibilă obținerea unor lianți care, în funcție de natura și dozajul constituenților, prezintă proprietăți specifice.

10.1.1. CARACTERIZAREA HIDRAULICĂ A ZGURILOR DE FURNAL. DEFINIREA LIANȚILOR PE BAZĂ DE ZGURI

Zgurile de furnal se caracterizează prin proprietăți hidraulice latente, înțelegînd prin aceasta că ele reacționează foarte lent cu apa, formind sisteme care fie nu se întăresc, fie se întăresc după un timp foarte îndelungat, dezvoltînd rezistențe mecanice mici.

Dacă în sistemul zgură-apă sînt prezente și alte substanțe, acesta se întărește și dobîndește rezistențe mecanice comparabile cu ale cimentului portland. Substanțele folosite în acest scop poartă numele de „activatori", iar procesul se numește „activare".

Activarea zgurilor de furnal se poate realiza folosind diferite adaosuri bazice (var, clincher de ciment portland) care conduc la creșterea bazicității sistemului zgură—apă, sau prin adăugare de sulfat de calciu împreună cu o substanță bazică, precum și folosind alte substanțe, cum ar fi : clorura de calciu, silicatul de sodiu, clorura de sodiu etc.

Activarea bazică, cu adaosuri de var sau clincher de ciment portland (care, prin hidratare-hidroliză eliberează $Ca(OH)_2$), este rezultatul unor acțiuni fizico-chimice complexe exercitate de hidroxidul de calciu asupra sistemului zgură—apă. Zgurile, avînd o bazicitate redusă, pot elibera prin hidratare-hidroliză doar cantități mici de

Scanned with OKEN Scanner

$Ca(OH)_2$, așa încît nu se asigură în sistem condițiile de bazicitate necesare pentru formarea și stabilitatea hidrocompușilor capabili să formeze structuri de întărire rezistente. Adaosurile suplimentare de CaO, mărind bazicitatea sistemului zgură—apă, fac posibilă formarea unor asemenea compuși și deci întărirea sistemului.

În cazul folosirii clincherului portland ca activator se obțin rezultate foarte bune datorită acțiunii duble a acestuia : pe de o parte, clincherul se întărește el însuși, contribuind la formarea structurii de rezistență a liantului în ansamblu, iar pe de altă parte, prin hidroxidul de calciu pe care îl eliberează, activează hidratarea și întărirea zgurii.

Activarea sulfatică se realizează cu adaosuri de 10—20% sulfat de calciu (dihidrat, semihidrat sau anhidrit), în prezența unor cantități mici de compuși bazici (var, clincher de ciment portland, dolomită calcinată etc.). Acest mod de activare este rezultatul îndeosebi al unor procese chimice care au loc între sulfatul de calciu adăugat și hidroaluminații rezultați prin interacțiunea zgurei cu apa, cu formare de hidrosulfataluminați de calciu care contribuie, alături de ceilalți produși hidratați, la formarea structurii de întărire a sistemului liant. Prin hidroxidul de calciu pe care îl aduc, adaosurile bazice determină creșterea bazicității sistemului, înlesnind prin aceasta formarea hidrosulfataluminaților de calciu.

Se pretează la activare sulfatică îndeosebi zgurile cu conținut ridicat de Al_2O_3 (peste 12%).

O bună activare a întăririi zgurilor de furnal se poate realiza și prin utilizarea ca activator a clorurii de calciu sau a silicatului de sodiu etc. *Clorura de calciu* exercită o acțiune acceleratoare importantă, îndeosebi cînd se folosește împreună cu clincherul portland. Un adaos mixt de 15% clincher+2% $CaCl_2$ determină un efect activator aproximativ similar cu acela obținut la folosirea a 30% clincher de ciment portland. *Silicatul de sodiu* asociat cu cantități reduse (2—5%) de var, determină o activare deosebit de bună a întăririi zgurilor de furnal ; pe această cale este posibilă realizarea unor lianți cu conținut foarte ridicat de zgură (peste 85%) și bune proprietăți mecanice.

10.1.2. TIPURI DE LIANȚI CU ZGURĂ. OBȚINERE. CARACTERISTICI

În funcție de natura materialului care determină activarea, pot fi : lianți de zgură și var, lianți de zgură și clincher de ciment portland, lianți de zgură sulfatată.

Scanned with OKEN Scanner

10.1.2.1. **Lianți de zgură și var.** Cimenturile de zgură cu var sînt lianți hidraulici care se pot obține din zgură de furnal, var în proporție de 10—30% și pînă la 7% sulfat de calciu, care are rolul de a regla procesul de priză. În funcție de dozajul constituenților, de natura zgurii, de calitatea varului, de faptul dacă se folosește stins sau nestins, un asemenea liant poate avea rezistențe la compresiune care, după 28 zile de întărire, pot ajunge la 100 și 250 daN/cm².

Lianții de marcă superioară se obțin prin utilizarea unor zguri mai active și a unui var cu conținut ridicat de CaO activ ; este de preferat ca varul să se utilizeze stins, în acest caz înregistrîndu-se creșteri importante de rezistențe mecanice. Gipsul, adăugat în cantitate de 1—7% are rolul de a intensifica procesele de priză și întărire a liantului.

Lianții de zgură cu var sînt, în general, lianți cu întărire lentă, caracterizați printr-un început de priză după 2—6 ore și sfîrșit de priză după 5—12 ore.

Tehnologia de fabricație a cimentului de zgură cu var este simplă și presupune ca principale operații aducerea constituenților într-o stare corespunzătoare de umiditate și granulozitate și amestecarea lor sau măcinarea lor simultană, conform schemei prezentate în fig. 10.1.

Date fiind proprietățile sale, cimentul de zgură-var se poate utiliza la prepararea mortarelor destinate unor construcții care nu sînt supuse unor solicitări prea mari, sau pentru realizarea tencuielilor.

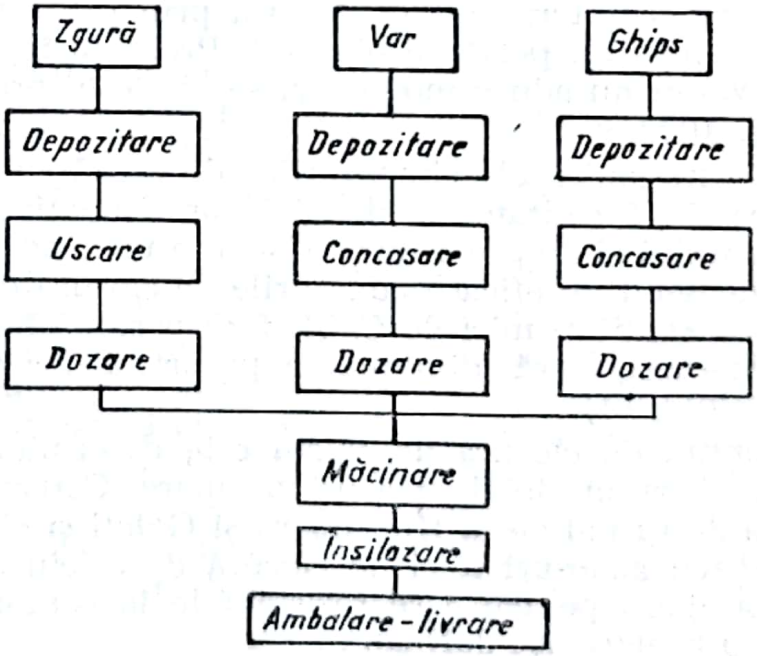


Fig. 10.1. Schema de operații la fabricarea cimentului de zgură și var.

Scanned with OKEN Scanner

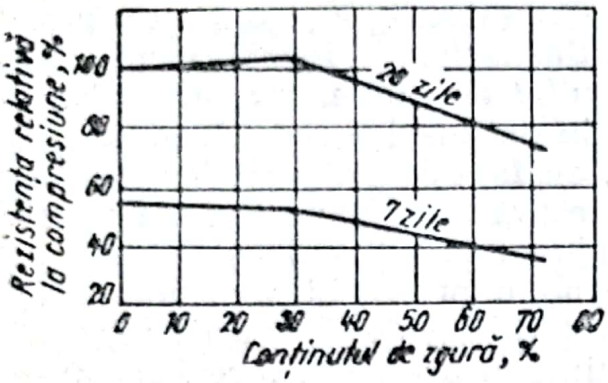


Fig. 10.2. Variația rezistențelor mecanice ale cimenturilor de zgură și clincher, în funcție de conținutul de zgură.

Aceste cimenturi sînt, de asemenea, indicate pentru realizarea elementelor prefabricate din beton, care se întăresc prin tratament termic.

10.1.2.2. **Lianți pe bază de zgură și clincher portland.** Cimenturile de zgură și clincher portland reprezintă cea mai importantă categorie de lianți pe bază de zguri. Ei se obțin prin amestecarea zgurii de furnal cu cantități variabile de clincher și adaosuri corespunzătoare de gips, pentru reglarea procesului de întărire. În funcție de dozajul constituenților, de calitatea lor, de tehnologia de fabricație, cimenturile de zgură și clincher pot avea mărci variind între 250 și 500 daN/cm² și viteze de întărire diferite.

Un rol important în obținerea unor lianți de acest tip, de calitate superioară, îl are finețea de măcinare a acestora ; pentru fineți de măcinare înaintate este posibilă obținerea unor cimenturi cu proprietăți liante bune, chiar în condițiile folosirii unor zguri mai puțin active.

Cimenturile de zgură și clincher, în care zgura reprezintă mai mult de 30%, se caracterizează în general prin rezistențe mecanice mai mici decît cimentul portland obișnuit. Prezentă în cantități mai mici în liant, zgura nu aduce modificări sensibile în proprietățile de rezistență (fig. 10.2).

Rezistențele mecanice ale cimenturilor de zgură cu clincher sînt influențate, pe lîngă calitatea și dozajul constituenților, finețea de măcinare a liantului și de prezența în sistem a unor adaosuri. Astfel, s-au dovedit deosebit de eficace adaosurile de clorură de calciu ; introducerea unor cantități mici de $CaCl_2$ face posibilă înlocuirea parțială a clincherului, fără diminuarea proprietăților de rezistență mecanică (tabelul 10.1).

Adaosul optim de clorură de calciu este determinat de natura zgurii și a clincherului, de finețea de măcinare. Cercetări efectuate folosind zgură de furnal de la Hunedoara și Galați și clincher de ciment portland, cu adaosuri mici de clorură de calciu au condus la obținerea unor lianți pentru care rezistențele la compresiune după 28 de zile ajung la 400—500 daN/cm².

Timpul de priză al cimenturilor de zgură cu clincher variază în limite largi, fiind determinat de compoziția liantului, de natura con-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 10.1

Adaos de clincher %	Rezistența la compresiune (daN/cm²), în lipsa adaosului de $CaCl_2$				Rezistența la compresiune (daN/cm²), a liantului cu adaos de 1% $CaCl_2$			
	3 zile	7 zile	28 zile	90 zile	3 zile	7 zile	28 zile	90 zile
5	78	180	416	522	130	276	394	490
10	132	214	416	482	309	326	494	511
15	192	314	436	582	336	351	484	511
20	252	354	420	569	304	396	—	590
25	264	338	444	521	292	352	438	564
30	251	355	482	559	304	360	473	564
35	—	485	484	572	315	368	518	628
40	216	482	584	584	319	434	534	601

stituenților, de finețea de măcinare a liantului. Ca urmare, priza poate începe după 1—3 ore și se sfîrșește după aproximativ 3—16 ore.

Cimenturile de zgură și clincher au, în comparație cu cimentul portland obișnuit, unele proprietăți îmbunătățite, determinate de prezența zgurii în ele. Astfel, este caracteristică pentru aceste cimenturi o bună *constanță de volum,* explicabilă prin faptul că zgura — component puțin bazic, poate lega în timpul întăririi oxidul de calciu liber, eventual existent în clincher, ceea ce face ca, chiar în cazul unor clinchere cu mai multă calce liberă (pînă la aproximativ 3—4%), cimentul obținut să nu prezinte inconstanță de volum.

Întrucît inconstanța de volum este provocată și de formarea întîrziată a hidrosulfataluminatului de calciu, se impune o dozare riguroasă a gipsului în liantul la care ne referim, în funcție de calitatea zgurei și de raportul zgură/clincher.

O caracteristică importantă a cimenturilor de zgură cu clincher este *exotermicitatea* lor redusă, determinată de faptul că zgura degajă o cantitate foarte mică de căldură în timpul hidratării, în comparație cu clincherul (după 3 zile, cantitatea de căldură degajată prin hidratarea zgurii este de 1,67—4,6 J/g, față de 188—314 J/g, în cazul cimentului portland). Cantitatea de căldură ce se degajă în procesul de întărire a cimenturilor de zgură cu clincher reprezintă aproximativ 55—60% din căldura degajată la întărirea cimentului portland.

Cimenturile de zgură și clincher prezintă o bună stabilitate la ger, precum și, datorită lipsei hidroxidului de calciu din liantul întărit, o bună stabilitate la acțiunea agenților corosivi.

Fabricarea cimenturilor de zgură și clincher se realizează după aceeași tehnologie ca și fabricarea cimentului portland, intervenind

Scanned with OKEN Scanner

în plus operații legate de pregătirea zgurii (stocarea, uscarea și dozarea acesteia).

În țara noastră se fabrică următoarele categorii de cimenturi de zgură și clincher : ciment portland cu adaosuri de pînă la 15% zgură, ciment metalurgic cu pînă la 30% zgură și ciment de furnal cu pînă la 50% zgură.

10.1.2.3. **Lianți de zgură sulfatată.** Cimenturile de zgură sulfatată sînt lianți ce se pot obține pe principiul activării sulfatice a zgurilor și constau din 75—90% zgură de furnal, 5—20% sulfat de calciu și pînă la 8% substanțe bazice (var, clincher, dolomită calcinată). Întrucît se activează bine sulfatic îndeosebi zgurile bogate în Al_2O_3, pentru obținerea unui asemenea liant sînt indicate zguri conținînd 12—20% Al_2O_3.

Proprietățile cimentului de zgură sulfatată sînt determinate de natura zgurii, de dozajul constituenților, de finețea de măcinare a liantului și de condițiile de punere în operă. Rezistențele mecanice ale acestui liant, după 28 zile de întărire, variază între 180 și 650 daN/cm² — compresiune și 15—44 daN/cm² — tracțiune.

Cimentul de zgură sulfatată se caracterizează printr-o stabilitate bună la acțiunea apelor agresive, în mod deosebit a celor sulfatate. De asemenea, acești lianți prezintă o degajare de căldură sensibil mai mică și mai puțin intensă în cursul hidratării, decît cimentul portland (fig. 10.3).

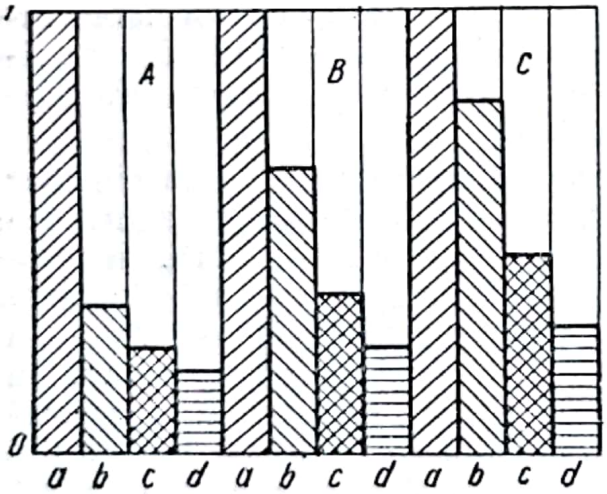


Fig. 10.3 Reprezentarea comparativă a căldurii degajată la întărirea unor cimenturi :

a — aluminos; *b* — portland; *c* — portland cu zgură; *d* — de zgură sulfatată; *A* — după 1 zi de întărire; *B* — după 3 zile de întărire; *C* — după 7 zile de întărire.

Fluxul tehnologic de fabricare a cimentului de zgură sulfatată presupune următoarele etape mai importante : pregătirea materiilor prime (uscare, concasare), măcinarea împreună a constituenților, însilozarea, ambalarea și livrarea liantului obținut.

Ca principale domenii de utilizare a cimentului de zgură sulfatată se pot menționa construcțiile masive subterane sau subacvatice și construcțiile în zone care implică acțiunea unor ape agresive.

Scanned with OKEN Scanner

10.2. LIANȚI CU ADAOSURI HIDRAULICE (PUZZOLANE)

Lianții cu adaosuri hidraulice reprezintă amestecuri de adaosuri hidraulice — diatomit, trass, tufuri vulcanice, cenuși de termocentrală etc., cu hidroxid de calciu sau cu un material care, în contact cu apa eliberează $Ca(OH)_2$, cum este cimentul portland.

Pentru calitatea liantului ce se obține este importantă atît natura materialului donor de $Ca(OH)_2$ și dozajul puzzolană-donor de $Ca(OH)_2$, cît și activitatea puzzolanei. Activitatea hidraulică a puzzolanei se definește prin capacitatea sa de a lega hidroxid de calciu, cu formare de hidrocompuși care se întăresc.

În funcție de componentul bazic folosit, lianții cu adaosuri hidraulice pot fi : lianți de var cu adaosuri hidraulice și lianți de clincher cu adaosuri hidraulice.

10.2.1. LIANȚI DE VAR CU ADAOSURI HIDRAULICE

Acești lianți se obțin prin amestecarea adaosurilor hidraulice naturale sau artificiale cu varul stins în pulbere sau nestins. Amestecul liant se poate realiza fie prin măcinarea concomitentă a componenților, fie prin amestecarea lor după ce în prealabil au fost măcinați fiecare la o finețe corespunzătoare. Indiferent de calea pe care se obține, la amestecul final trebuie să se adauge o cantitate de aproximativ 2% gips, care are rolul de accelerator al procesului de întărire.

Pentru calitatea acestor lianți prezintă o importanță deosebită natura componenților, finețea lor de măcinare, dozajul și gradul de omogenizare al liantului.

O finețe de măcinare înaintată favorizează obținerea unui liant cu proprietăți hidraulice bune, ca urmare a intensificării interacțiunii puzzolană—$Ca(OH)_2$—apă.

Dozarea componenților principali — puzzolană și var, se face în funcție de natura puzzolanei, de gradul său de activitate, de calitatea varului, de finețea de măcinare și de cerințele ce se impun liantului ce se obține. Trebuie să se evite excesul oricăruia dintre componenți, datorită repercusiunilor pe care le poate avea asupra calității liantului ; SiO_2 rămas nelegat se comportă ca material inert, iar oxidul de calciu liber formează $Ca(OH)_2$ în cimentul întărit, ceea ce determină o reducere a stabilității acestuia față de acțiunea agenților corosivi.

În cazul puzzolanelor mai puțin active se folosesc dozaje care, în funcție și de domeniul de utilizare a liantului, variază între 1 : 4 și 1 : 7 var/puzzolană.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul puzzolanelor active, dozajul var/puzzolană este cuprins între 1 : 2 și 1 : 4, iar pentru lianții conținînd puzzolane foarte active, acest raport poate ajunge la 3 : 2 sau chiar 3 : 1.

Caracteristic pentru această categorie de lianți este faptul că procesele de întărire sînt intensificate în condiții de tratament termic (creșterea temperaturii cu 10 °C determină o accelerare a vitezei de interacțiune puzzolană—var de 2—4 ori).

În funcție de natura adaosului hidraulic utilizat, lianții de var cu puzzolană pot fi lianți cu adaosuri hidraulice naturale și lianți cu adaosuri hidraulice artificiale. Dintre adaosurile hidraulice naturale, mai indicat pentru obținerea lianților micști cu var este diatomitul.

Lianții de var cu diatomit reprezintă amestecuri ale acestor doi constituenți în proporții variind între 3 : 1 și 2 : 1, cu un adaos corespunzător de gips. În funcție de proporția dintre constituenți și de finețea de măcinare a liantului, rezistența sa la compresiune după 28 zile de întărire poate ajunge la 350 daN/cm^2. De asemenea, acești lianți se caracterizează printr-o stabilitate bună față de acțiunea apelor, ceea ce îi face utilizabili în lucrări subacvatice. Lianții din această categorie prezintă o sensibilitate foarte mare la păstrare, motiv pentru care este indicată punerea lor în lucru după cel mult o lună de la preparare.

Lianții de var cu diatomit se mai pot utiliza pentru : confecționarea mortarelor de zidărie ce vin în contact cu medii umede, dar nu sînt supuse unor solicitări mecanice prea mari, realizarea mortarelor obișnuite (pentru aceasta se recomandă îndeosebi lianții cu conținut mai redus de puzzolană).

Dintre adaosurile hidraulice artificiale, pentru obținerea lianților micști se utilizează îndeosebi cenușa de termocentrală.

Liantul de var cu cenușă de termocentrală are proprietăți hidraulice slabe ; pentru dozaje var/cenușă variind între 1 : 3 și 1 : 4, rezistența la compresiune după 28 zile de întărire nu depășește 40—60 daN/cm^2. Priza acestui liant este lentă, începutul are loc după aproximativ 5 ore, iar sfîrșitul după cel mult 24 ore.

10.2.2. LIANȚI PE BAZĂ DE CLINCHER ȘI ADAOSURI HIDRAULICE

Cimenturile pe bază de clincher și adaosuri hidraulice sînt cele care se produc pe scară largă și se obțin prin măcinarea clincherului de ciment portland cu cantități variabile de adaosuri hidraulice și adaosuri de 3—5% gips.

Adaosurile hidraulice utilizate mai frecvent la obținerea acestor lianți sînt materialele de natură vulcanică și cenușile de termocentrală.

Scanned with OKEN Scanner

Dozajul optim al celor doi constituenți principali este determinat de bazicitatea clincherului (apreciată prin conținutul său în silicat tricalcic), de activitatea puzzolanei, de finețea de măcinare, cum și de cerințele calitative ce se impun liantului respectiv. În tabelul 10.2 se prezintă cîteva compoziții pentru cimenturi cu puzzolane de activitate diferită.

Tabelul 10.2

Componentul cimentului	Conținutul (%) în ciment	
	I	II
Clincher de ciment portland	55—60	79—91
Puzzolană vulcanică comună	35—40	—
Puzzolană activă	—	6—18
Sulfat de calciu bihidrat	2—5	—
Sulfat de calciu anhidru	—	2—3

Gipsul care se folosește în cantități mici la prepararea liantului, are rolul de a intensifica reacția puzzolanei cu clincherul. Dintre cele două procese chimice care au loc în cimenturile cu puzzolană — procesul de hidratare-hidroliză a clincherului, cu eliberare de $Ca(OH)_2$ și procesul de legare a acestuia de către adaosul hidraulic, primul decurge cu viteză mai mare ; gipsul, intensificînd reacția de legare a $Ca(OH)_2$, conduce la o oarecare uniformizare a vitezelor cu care se desfășoară aceste procese.

Calitatea liantului, proprietățile sale sînt condiționate atît de dozajul constituenților, cît și de finețea de măcinare și gradul de omogenitate. Creșterea fineței de măcinare favorizează proprietățile hidraulice ale liantului, îndeosebi în cazul în care puzzolana folosită este mai puțin activă. Întrucît măcinarea concomitentă a constituenților intensifică atît reacția de legare a $Ca(OH)_2$ de către puzzolană, cît și procesul de hidratare-hidroliză a clincherului, este indicată adeseori măcinarea separată a celor doi constituenți și amestecarea lor ulterioară.

Prezența puzzolanei în proporție mai mare de 5% determină, la lianții la care ne referim, unele proprietăți diferite de ale cimentului portland normal.

În ceea ce privește rezistențele mecanice, puzzolana afectează îndeosebi valorile acestora după perioade scurte de întărire, la intervale mai mari de timp, rezistențele mecanice pot să fie chiar superioare celor ale cimentului portland. În funcție de natura puzzolanei și a clincherului există, din punctul de vedere al rezistențelor mecanice, o valoare optimă pentru cantitatea de adaos hidraulic (fig. 10.4).

Scanned with OKEN Scanner

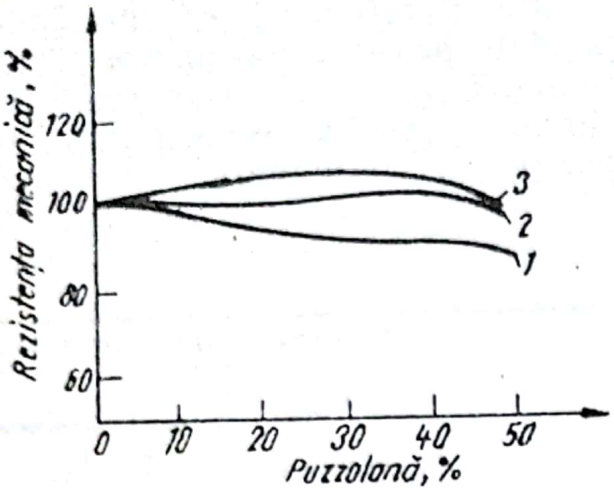


Fig. 10.4. Variația rezistenței mecanice la compresiune a unui ciment cu puzzolană în funcție de cantitatea de adaos : 1 — întărire 28 zile; 2 — întărire 180 zile; 3 — întărire 360 zile.

Lianții de clincher cu adaosuri hidraulice se caracterizează prin contracții mai mari în timpul întăririi decît cimentul portland. Această comportare se explică prin cantitatea mai mare de hidrosilicați gelici (care rețin o cantitate importantă de apă) ce se formează în urma interacțiunii puzzolanei cu hidroxidul de calciu. Acesta este unul din cele mai mari inconveniente ale acestor lianți, care limitează utilizarea lor doar la construcții în mediu uscat. Pentru clinchere cu conținut ridicat de MgO, adaosurile hidraulice au rolul de a stabiliza variația de volum pe care hidratarea lentă a periclazului ar putea-o determina ; un adaos de 10% cenușă de termocentrală cu aproximativ 50% SiO_2 activ poate stabiliza cimenturi cu pînă la 7% MgO.

O proprietate importantă a cimenturilor cu adaosuri hidraulice o constituie stabilitatea lor chimică ridicată, determinată în primul rînd de reducerea sensibilă a conținutului de $Ca(OH)_2$ din cimentul întărit.

Dintre lianții de clincher cu adaosuri hidraulice prezintă o deosebită importanță cimenturile cu cenușă de termocentrală — valorificarea acestora impunîndu-se cu acuitate și în țara noastră.

La utilizarea cenușilor de termocentrală pentru obținerea de lianți trebuie să se țină seama de compoziția lor chimică deoarece aceasta variază atît în timp cît și de la un loc de captare la altul și îndeosebi, de la o termocentrală la alta, cum și granulometria cenușilor. S-a constatat că în fracțiunile grosiere există mai mult cuarț și cărbune nears, compuși care influențează negativ reactivitatea cenușii ; de aceea, pentru obținerea unor cimenturi cu caracteristici superioare, este bine să se îndepărteze în prealabil fracțiunile grosiere din cenușă.

În țara noastră se fabrică următoarele sortimente de cimenturi cu cenușă : ciment cu 5% cenușă de termocentrală — Pa 40, ciment mixt cu zgură și cenușă, în care adaosul de cenușă+zgură reprezintă 15%, ciment metalurgic cu cenușă, în care zgura+cenușa reprezintă 30%.

Lianții de clincher cu adaosuri hidraulice se folosesc în construcții subterane și subacvatice, supuse acțiunii mediilor corosive.

Scanned with OKEN Scanner

11. PRODUSE DE AZBOCIMENT

11.1. DEFINIREA ȘI CLASIFICAREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

Azbocimentul se obține prin amestecarea, în anumite proporții, a cimentului cu azbestul și apa ; produsele fasonate din azbociment preiau proprietățile celor doi constituenți de bază — cimentul și azbestul. Ca urmare, azbocimentul se caracterizează atît prin rezistențe mecanice bune (imprimate de ciment), cît și prin stabilitate chimică, rezistență la temperaturi ridicate, elasticitate (imprimate de azbest).

Utilizarea elementelor de azbociment în construcții s-a impus datorită unor avantaje pe care acestea le prezintă :

— reducerea greutății elementelor de construcții, deci a construcțiilor în ansamblu, ceea ce permite micșorarea secțiunii fundațiilor, cu efecte economice favorabile ;

— ușurarea operațiilor de manipulare, transport și montare ;

— reducerea sau eliminarea consumului unor materiale deficitare, cum sînt lemnul, oțelul, fonta, în unele domenii, cum ar fi : instalații tehnico-sanitare, rețele de alimentare cu apă, de canalizare sau de transport de gaze sau produse petroliere etc. ;

— soluționarea corespunzătoare a problemelor de izolație fonică și termică prin intercalarea unor straturi de materiale cu proprietăți izolatoare între plăci de azbociment (materiale sandwich) ;

— creșterea gradului de industrializare a execuției construcțiilor, prin posibilitatea utilizării unor prefabricate de dimensiuni mari și a gradului înalt de mecanizare a proceselor tehnologice ;

— scurtarea duratei de execuție a lucrărilor, determinată de montarea mai ușoară a elementelor prefabricate pe șantiere ;

— reducerea costului lucrărilor.

Fabricarea produselor de azbociment datează de la începutul secolului XX, cînd s-au produs primele plăci de azbociment. Ulterior,

Scanned with OKEN Scanner

acest domeniu al industriei materialelor de construcții a cunoscut o dezvoltare importantă în țări ca U.R.S.S. și Italia — țări care dispun de surse de azbest de bună calitate. Produsele fabricate au fost mult diversificate, producîndu-se :

— plăci pentru învelitori, de formate și dimensiuni diferite, plane sau ondulate ;

— tuburi de canalizare ;

— tuburi pentru conducte de apă sub presiune, ape industriale, gaze, produse petroliere ;

— panouri pentru pereți interiori și exteriori ;

— panouri pentru construcții tehnico-sanitare ;

— elemente pentru profile ornamentate ;

— piese de îmbinare a diferitelor elemente.

În țara noastră, în cadrul combinatelor de lianți și azbociment se fabrică următoarele sortimente de produse din azbociment :

— plăci ondulate, destinate pentru învelitori, acoperiri de construcții ușoare ; acestea pot fi colorate în masă sau la suprafață, cu pigmenți anorganici sau organici ;

— plăci plane, utilizate pentru placări de pereți, plafoane, construcții de pereți, pentru construcția turnurilor de răcire la termocentrale etc. ;

— tuburi și îmbinări pentru presiuni ajungînd pînă la 30 at ;

— canale de ventilație, jgheaburi, recipienți, vase ornamentale etc.

11.2. SISTEMUL CIMENT—AZBEST—APĂ

Amestecul ciment—azbest—apă nu reprezintă un simplu amestec mecanic, ci constituie un sistem complex în care componenții pot interacționa fizic și chimic, ceea ce are drept consecință obținerea unui produs complex ce preia din proprietățile fiecărui component.

Deși azbestul intră cu o pondere mică în compoziția amestecului (10—20% raportat la suma azbest—ciment), el are rolul hotărîtor pentru unele din proprietățile azbocimentului, cum sînt : elasticitatea, flexibilitatea, rezistența la întindere, capacitatea de a fi prelucrat mecanic, rezistența la temperaturi ridicate.

Capacitatea mare de adsorbție ce caracterizează azbestul, se amplifică încă în condițiile preparării suspensiei de azbociment, ca urmare a dispersării înaintate a acestuia ; fibrele de azbest extrag și

Scanned with OKEN Scanner

reţin o bună parte din apa din amestec, determinînd compactarea pastei de ciment şi asigurînd o bună aderenţă a acesteia la fibre. Odată cu apa, azbestul reţine şi o bună parte din hidroxidul de calciu produs prin hidratarea-hidroliza cimentului, ceea ce influenţează procesele de hidratare şi întărire a sistemului.

Coeziunea dintre fibrele de azbest şi piatra de ciment este influenţată de natura cimentului, în sensul că cimenturi cu un conţinut mai ridicat de C_3S asigură o coeziune mai bună a sistemului azbest—ciment hidratat, ca urmare a capacităţii de a se hidrata şi întări mai repede. În timp, coeziunea dintre fibrele de azbest şi piatra de ciment creşte (tabelul 11.1).

Tabelul 11.1

Tipul de produs de azbociment	Rezistenţa la desprindere a fibrelor de azbest, de piatra de ciment (daN/cm²), după :		
	7 zile	28 zile	3 luni
Presat	50	60	65
Nepresat	30	40	45

Dimensiunile fibrelor de azbest influenţează atît coeziunea dintre acestea şi piatra de ciment cît şi proprietăţile de rezistenţă mecanică ale produselor întărite. Cercetări experimentale au arătat că adeziunea ciment—azbest este mai bună în cazul unor fibre cît mai subţiri. O influenţă hotărîtoare asupra valorii rezistenţelor mecanice are nu atît lungimea fibrelor, ci raportul lungime/diametru ; ca valori minime ale acestui raport, care să asigure obţinerea unor rezistenţe mecanice corespunzătoare, se indică :

$L/d \geqslant 52$, pentru produse de azbociment presate ;

$L/d \geqslant 73$, pentru produse de azbociment nepresate.

Pentru proprietăţile de rezistenţă mecanică ale produselor de azbociment are importanţă şi poziţia pe care o ocupă fibrele de azbest în raport cu direcţia de aplicare a solicitării. Din acest punct de vedere este bine ca fibrele să fie orientate, pe cît posibil, după o direcţie paralelă cu aceea de aplicare a solicitării ; acest deziderat se realizează în măsură mai mare în cazul folosirii, la formarea produselor de azbociment, a unor amestecuri ciment—azbest—apă mai fluide.

Scanned with OKEN Scanner

11.3. PROCESE TEHNOLOGICE LA FABRICAREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

Tehnologia de fabricație a produselor de azbociment presupune următoarele etape principale :

— prelucrarea azbestului ;
— prepararea amestecului azbest—ciment—apă ;
— formarea produselor de azbociment ;
— întărirea produselor de azbociment ;
— finisarea produselor de azbociment.

În funcție de modul în care se realizează formarea produselor de azbociment, se pot defini următoarele tipuri de tehnologii de fabricație :

a) metoda umedă de fabricație, presupune formarea produselor dintr-o suspensie de azbociment ;

b) metoda semiuscată, presupune formarea produselor dintr-un amestec semiuscat de azbest—ciment—apă ;

c) metoda uscată — prin care produsele de azbociment se obțin din amestecuri uscate de azbest, ciment și apa necesară proceselor de hidratare.

Dintre aceste metode, în prezent se folosește cu precădere metoda umedă, conform căreia produsele de azbociment se formează prin depunerea unor straturi succesive de azbociment, rezultate în urma filtrării unei suspensii corespunzătoare printr-un cilindru sitat.

11.3.1. PRELUCRAREA AZBESTULUI

Azbestul extras din zăcămînt (prin metoda exploatării la zi, subteran sau combinată) se prezintă de regulă ca granule de dimensiuni relativ mari (peste 30 mm). Pentru a ajunge într-o stare corespunzătoare (ca puritate și dimensiuni ale fibrelor) pentru introducerea în amestecul de azbociment, sînt necesare următoarele operații de prelucrare : concasare, uscare, defibrare.

Imediat după extragere, chiar în carieră, se realizează o înnobilare a azbestului, prin eliminarea sterilului din rocă.

Concasarea azbestului se realizează în două trepte, folosindu-se concasoare cu ciocane, cu fălci, sau conice și urmărește aducerea granulelor de azbest la dimensiuni mai mici de 25 mm. Materialul concasat se supune *uscării* în uscătoare tambur sau galerii uscătoare.

După uscare, azbestul este *mărunțit fin în mai multe etape*, fiecare etapă fiind urmată de o extragere a fibrelor, așa încît se obțin sortimente diferite de azbest. Pentru mărunțirea fină se folosesc mori speciale cu bile. După fiecare etapă de mărunțire fină se face

Scanned with OKEN Scanner

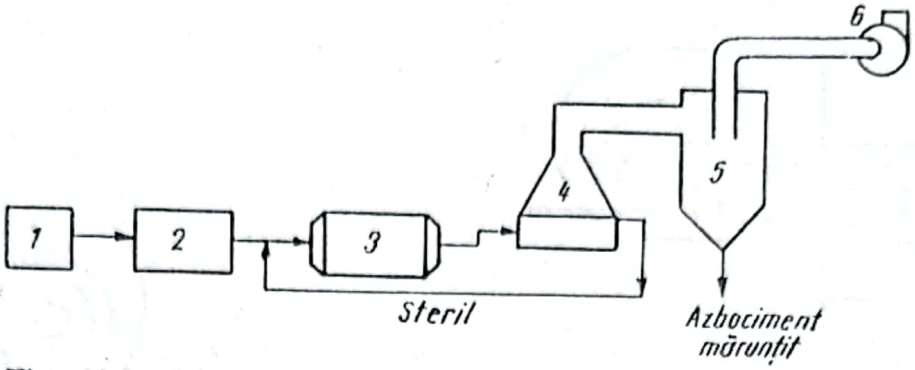


Fig. 11.1. Schema tehnologică a procesului de mărunțire și extragere a fibrelor de azbest :

1 — concasare; *2* — uscare; *3* — mărunțire fină; *4* — sitare; *5* — ciclon; *6* — exhaustor.

o sitare a materialului pe ciururi vibratoare și antrenarea fibrelor de către curenți de aer, în cicloane unde se depun (fig. 11.1). Particulele care nu au fost mărunțite într-o anumită etapă sînt recirculate pentru o nouă mărunțire, ajungîndu-se prin cîteva asemenea cicluri mărunțire-separare, la un grad de extracție de aproximativ 85 %.

Prin mărunțire se realizează obținerea fibrelor de azbest de anumite lungimi. Întrucît pentru tehnologia de fabricație și proprietățile produselor de azbociment este deosebit de importantă și grosimea fibrelor, în continuare azbestul se supune operației de defibrare.

Defibrarea azbestului presupune desfacerea granulelor în fibre subțiri și se realizează în colerganguri și holendere. În prezența apei se realizează o defibrare mai bună, întrucît aceasta pătrunde în microfisurile granulelor, micșorează forțele de coeziune din acestea și înlesnește desfacerea granulelor în fibre subțiri. S-a constatat că această acțiune este amplificată de prezența în apă a unor cantități de $Ca(OH)_2$, ceea ce justifică folosirea pentru defibrare a apei rezultată în procesul de formare a produselor de azbociment în urma filtrării suspensiei de azbociment.

Defibrarea pe cale umedă a azbestului, pe lîngă faptul că se realizează mai ușor, prezintă și alte cîteva avantaje și anume :

— asigură un grad de defibrare mai mare în condițiile păstrării unor lungimi suficient de mari ale fibrelor ;

— diminuează mult gradul de poluare a mediului.

Defibrarea se realizează în două etape. Într-o primă etapă are loc slăbirea legăturilor din interiorul granulelor, prin strivirea acestora, ceea ce asigură o desfacere ulterioară mai ușoară ; în a doua etapă are loc desfacerea propriu-zisă a granulelor în fibre subțiri.

Scanned with OKEN Scanner

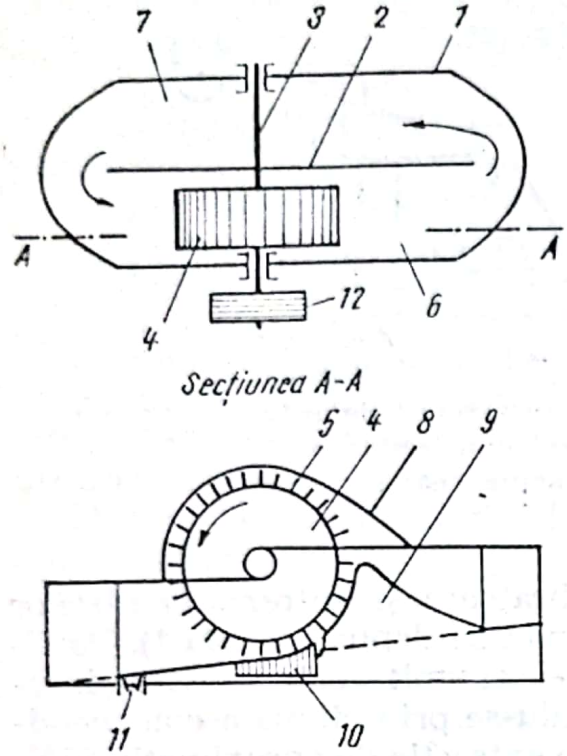


Fig. 11.2. Holender cu funcționare periodică :

1 — cuvă; *2* — perete despărțitor; *3* — ax; *4* — tambur dințat; *5* — cuțite; *6, 7* — canalele cuvei; *8* — carcasă demontabilă; *9* — movilă; *10* — cadru cu cuțite de oțel; *11* — gură de evacuare cu clapetă; *12* — transmisie.

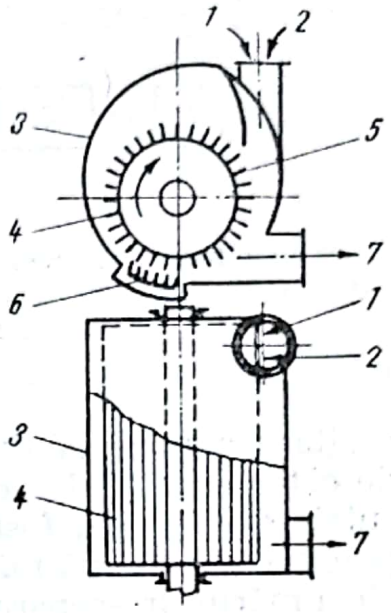


Fig. 11.3. Holender cu funcționare continuă :

1 — alimentare cu azbest; *2* — alimentare cu apă; *3* — carcasă; *4* — tambur dințat; *5* — cuțite; *6* — ramă dințată; *7* — evacuare suspensie.

Prima etapă a procesului se realizează cu ajutorul colergangurilor, iar pentru defibrarea propriu-zisă se folosesc holendere. Acestea constau dintr-o cuvă în care se rotește un valț prevăzut cu cuțite (fig. 11.2 și 11.3) și pot fi cu funcționare continuă sau periodică.

Instalația prezentată schematic în fig. 11.2 constă dintr-o cuvă metalică *1* despărțită în două zone printr-un perete despărțitor *2*. Într-una din zone se rotește un tambur *4* montat pe un ax *3* și având pe suprafața sa dispuse cuțitele *5*. Sub tambur se află o ramă cu cuțite de oțel *10*, dispuse sub un unghi de 1,5—2,5° față de cuțitele tamburului. Distanța dintre cuțitele tamburului și cele ale ramei este reglabilă.

Rotirea tamburului cu cuțite determină antrenarea suspensiei de azbociment într-o mișcare turbulentă, fibrele destrămîndu-se prin prinderea lor între cuțitele tamburului și ale ramei. Procesul de desfacere a fibrelor este ușurat de prezența apei în amestec. Evacuarea suspensiei se face prin orificiul *11*.

Scanned with OKEN Scanner

Holenderul poate fi folosit și pentru prepararea suspensiei de azbociment, dar prezintă dezavantajul uzurii rapide și deteriorării cuțitelor în contact permanent cu pasta de azbociment, datorită eroziunii provocate de ciment.

Un alt utilaj cu care se poate realiza defibrarea umedă este hidropulperul sau hidrodefibratorul. În principiu, acesta constă dintr-o cuvă în care se rotesc agitatoare de construcții diferite. Pentru realizarea gradului de defibrare impus, suspensia de azbest se recirculă în hidropulper cu ajutorul unei pompe centrifuge. Asemenea utilaje se folosesc și la unele linii de azbociment din țara noastră.

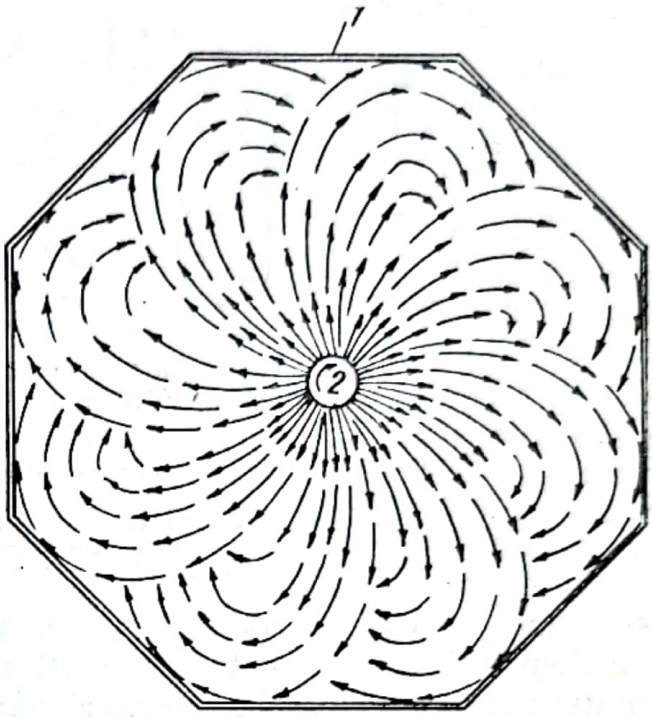


Fig. 11.4. Schema circuitului suspensiei de azbest în hidrodefibratorul tip rozetă :
1 — recipient; *2* — arbore central.

O variantă a hidropulperului o constituie hidrodefibratorul tip rozetă, conceput și realizat în țara noastră. El constă dintr-un recipient octogonal, în care se rotește un arbore central pe care sînt montate elice. Defibrarea azbestului se realizează prin turbionarea puternică a suspensiei (ca urmare a rotirii arborelui central cu 400—650 rot/min), după o traiectorie care este reprezentată schematic în fig. 11.4.

11.3.2. PREPARAREA AMESTECULUI DE AZBOCIMENT

Realizarea amestecului de azbociment se face cu precădere pe cale umedă ; presupunînd amestecarea constituenților principali — azbest, ciment, apă, cu eventuale adaosuri (pigmenți, plastifianți, substanțe floculante) rezultînd o masă omogenă, sub formă de suspensie sau pastă.

În acest scop, azbestul prelucrat prin operațiile de mărunțire și defibrare, se amestecă cu cimentul și apa, în cantități bine dozate, în amestecătoare elicoidale sau cu palete, în care suspensia se omogenizează aproximativ 8—10 min. Pentru asigurarea unei rezerve de pastă necesară funcționării continue a mașinii de fasonat produ-

Scanned with OKEN Scanner

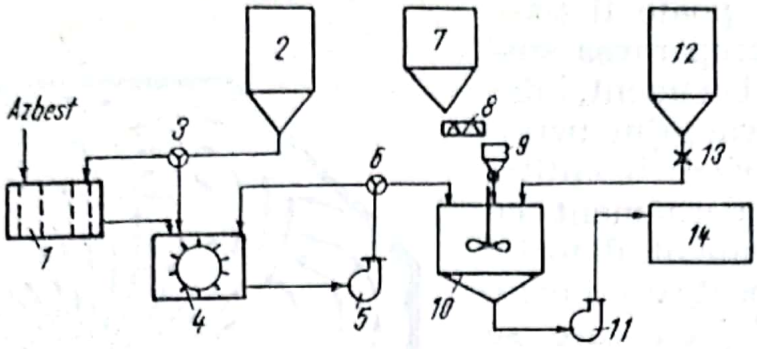


Fig. 11.5. Schema tehnologică a procesului de defibrare a azbestului și de preparare a suspensiei de azbociment :

1 — colergang; *2* — rezervor de apă; *3* — robinet cu 3 căi; *4* — holender; *5* — pompă; *6* — robinet cu 3 căi; *7* — buncăr de ciment; *8* — transportor cu șnec; *9* — dozator; *10* — amestecător elicoidal; *11* — pompă; *12* — rezervor de apă; *13* — robinet simplu; *14* — malaxor.

sele, amestecul de azbociment este trecut într-un malaxor prevăzut cu dispozitive de amestecare continuă. În fig. 11.5 se prezintă schematic procesul de defibrare a azbestului și de preparare a suspensiei de azbociment.

Azbestul mărunțit se aduce în colergangul *1*, pentru o defibrare primară, împreună cu apa (recuperată din procesul tehnologic de fasonare a produselor) din rezervorul *2*. Suspensia rezultată este trecută, pentru defibrarea definitivă, în holenderul *4*. În scopul asigurării unui grad avansat de defibrare, suspensia de azbest defibrat este recirculată în holender prin intermediul pompei *5* și al robinetului cu trei căi *6*. Cimentul, din buncărul *7*, este adus prin intermediul transportorului cu șnec *8* și al dozatorului *9*, în amestecătorul elicoidal *10* unde vine și suspensia de azbest, precum și cantitatea suplimentară de apă necesară din rezervorul *12*. Pasta de azbociment care rezultă în amestecătorul 10 este trecută cu pompa *11* în malaxorul *14*, de unde va fi dirijată către mașinile de formare a produselor.

11.3.3. FORMAREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

Formarea produselor de azbociment constituie una din etapele cele mai importante ale fluxului tehnologic și constă din două procese principale : depunerea unor straturi subțiri de azbociment pe un tambur de formare și formarea produselor avînd o anumită grosime, prin compactarea acestor straturi elementare.

Principial, formarea produselor de azbociment — tuburi și plăci, este asemănătoare, realizîndu-se cu ajutorul mașinilor cu cilindru sitat (cilindru cu plasă).

Scanned with OKEN Scanner

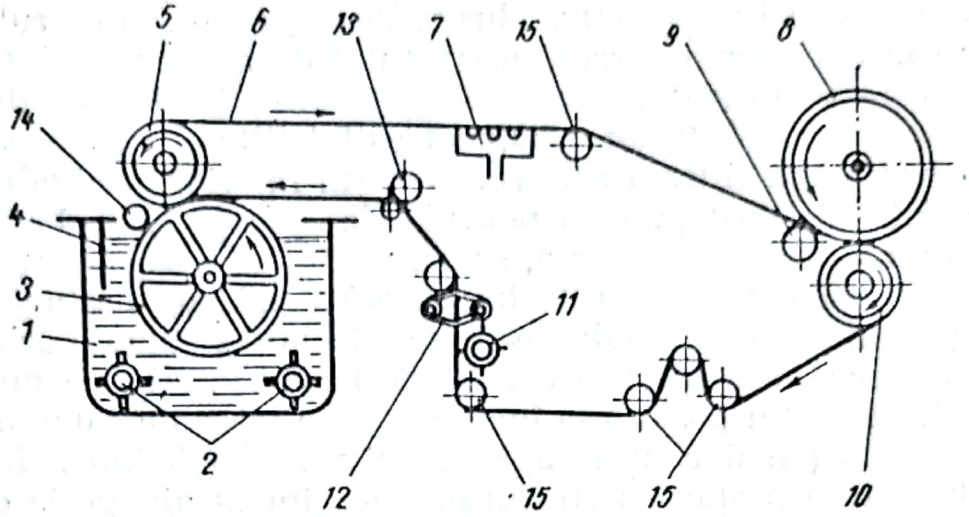


Fig. 11.6. Schema tehnologică a mașinii de formare a plăcilor de azbociment din suspensie :

1 — cuvă; *2* — agitatoare; *3* — cilindru cu plasă; *4* — diafragmă; *5* — valț de stoarcere; *6* — filț; *7* — cameră de vid; *8* — tambur de formare; *9* — valț de presare; *10* — tambur de sprijin; *11* — dispozitiv de scuturare; *12* — instalație de spălare a filțului; *13* — valțuri de stoarcere; *14* — dispozitiv de spălare a cilindrului cu plasă.

11.3.3.1. **Formarea plăcilor de azbociment.** Pentru obținerea plăcilor de azbociment se pot folosi sortimente inferioare de azbest, cu fibre de lungimi intermediare : fibrele prea lungi nu sînt indicate deoarece prin aglomerările pe care le pot produce provoacă neuniformități în structura plăcilor și, în plus, un asemenea azbest este deficitar ; fibrele prea scurte sînt, de asemenea, contraindicate deoarece diminuează rezistența mecanică a produselor.

Plăcile de azbociment se pot realiza prin prelucrarea suspensiilor sau pastelor de azbociment.

Formarea plăcilor din suspensii de azbociment presupune prelucrarea unor suspensii diluate de ciment+azbest+apă în instalații corespunzătoare. Schema de principiu a mașinii de format plăci de azbociment din suspensie este prezentată în fig. 11.6.

Suspensia de azbociment, conținînd aproximativ 88—90% apă, se aduce din malaxorul care realizează rezerva de suspensie, într-o cuvă metalică *1* în care se menține în continuă agitare pentru a se evita sedimentarea, cu ajutorul agitatoarelor *2*. În cuvă este plasat cilindrul cu plasă *3*, avînd peretele format dintr-o sită foarte fină (de unde și denumirea de cilindru sitat). Cuva este prevăzută cu o diafragmă *4* care are scopul de a împiedica proiectarea jetului de

suspensie ce se aduce în cuvă direct pe suprafața cilindrului (ceea ce ar afecta depunerea corectă a stratului de azbociment). Cilindrul cu plasă este scufundat în suspensie aproximativ 3/4 din diametrul său ; el se rotește continuu, realizînd astfel filtrarea suspensiei prin peretele sitat. Apa filtrată este colectată în interiorul cilindrului, iar pe suprafața lui se depune o peliculă de azbociment. Pe cilindru presează un valț de stoarcere *5*, care se rotește în sens contrar cilindrului cu plasă și pe care este înfășurată banda de postav *6*, denumită filț. Prin presare, banda de postav preia pelicula de azbociment și se deplasează, ajungînd la o cameră de vid 7. Aici se mai reține o parte din apa din pastă, așa încît, după ce trece de camera de vid, pasta de pe filț mai conține aproximativ 30—35% apă. În continuare, banda de postav cu stratul de azbociment ajunge la cilindrul de formare *8* avînd o suprafață foarte netedă ; acesta, prin presare cu valțul *9*, preia stratul de azbociment de pe bandă. Banda se deplasează în continuare peste tamburul de sprijin *10* și este supusă unor operații de curățire și pregătire pentru a prelua un nou strat de azbociment : dispozitivul *11* realizează scuturarea benzii de resturile de pastă eventual rămase pe ea, după care este spălată în instalația *12* și stoarsă între valțurile *13*. Astfel pregătită, banda ajunge pe cilindrul cu plasă.

Cilindrul este supus unor operații de spălare, după ce pasta a trecut de pe el pe banda de postav, cu ajutorul dispozitivului *14*.

Prin cîteva asemenea cicluri se depun mai multe straturi de azbociment pe cilindrul de formare, pînă la realizarea grosimii corespunzătoare a plăcilor. Lungimea și lățimea plăcilor sînt imprimate de dimensiunile cilindrului de formare.

După realizarea grosimii plăcilor ce se formează are loc tăierea cu ajutorul unui cuțit, după generatoarea tamburului de formare și desprinderea plăcii astfel rezultate de pe suprafața tamburului.

În fig. 11.7 este prezentată o imagine de ansamblu a mașinii de formare a plăcilor de azbociment plane.

În fig. 11.8 se prezintă schematic fluxul tehnologic pentru procesul de formare și fasonare a plăcilor de azbociment din suspensie, utilizat în țara noastră.

Instalațiile noi de formare a plăcilor de azbociment din țara noastră folosesc mașini cu trei sau patru cilindri filtranți, avînd funcționarea complet automatizată.

Pentru realizarea plăcilor de azbociment ondulate se folosesc dispozitive de ondulare de tipul celui prezentat în fig. 11.9.

Dispozitivul de ondulare prezentat în fig. 11.9 constă, în principal, dintr-un șasiu *1* pe care este montată tija de ghidaj *2* ; pe aceasta alunecă manșoanele *3* prevăzute cu ventuzele *4* și *5*, care

Scanned with OKEN Scanner

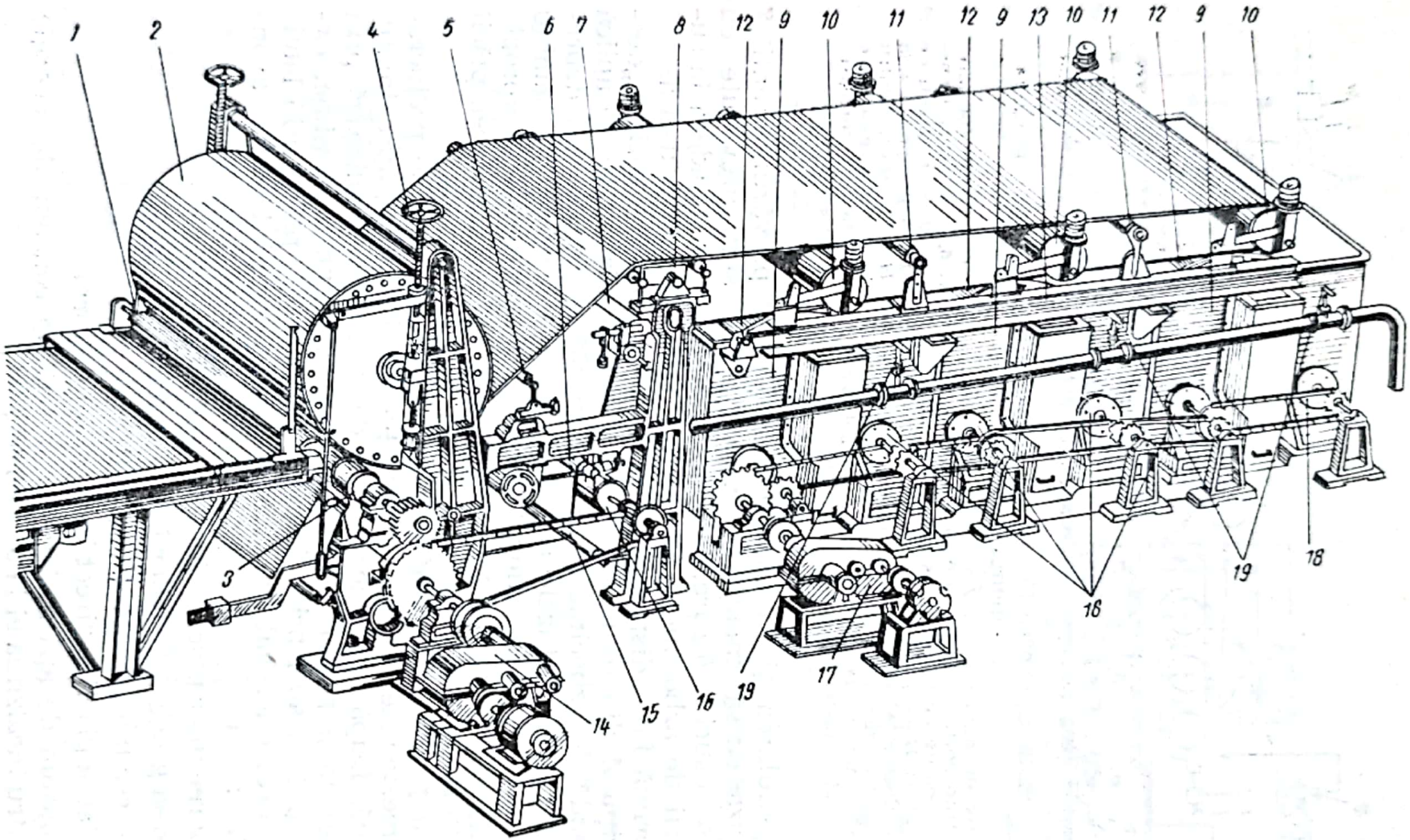


Fig. 11.7. Maşină cu reţea plană pentru formarea plăcilor de azbociment:

1 — foarfece; *2* — tambur de formare; *3* — valţ de presare; *4* — mecanism de ridicare a tamburului de formare; *5* — valţ de reglare; *6* — valţ de întindere; *7* — valţ de stoarcere; *8* — cameră de vid; *9* — cuvă; *10* — valţuri de stoarcere; *11* — valţuri de susţinere; *12* — cilindri cu plasă; *13* — ramă de ridicare; *14* — dispozitiv de acţionare a valţurilor de presare; *15* — valţ de distanţare; *16* — tambur de spălare a filţului; *17* — dispozitiv de acţionare a amestecătorului; *18* — amestecătoare; *19* — tuburi de spălare.

Scanned with OKEN Scanner

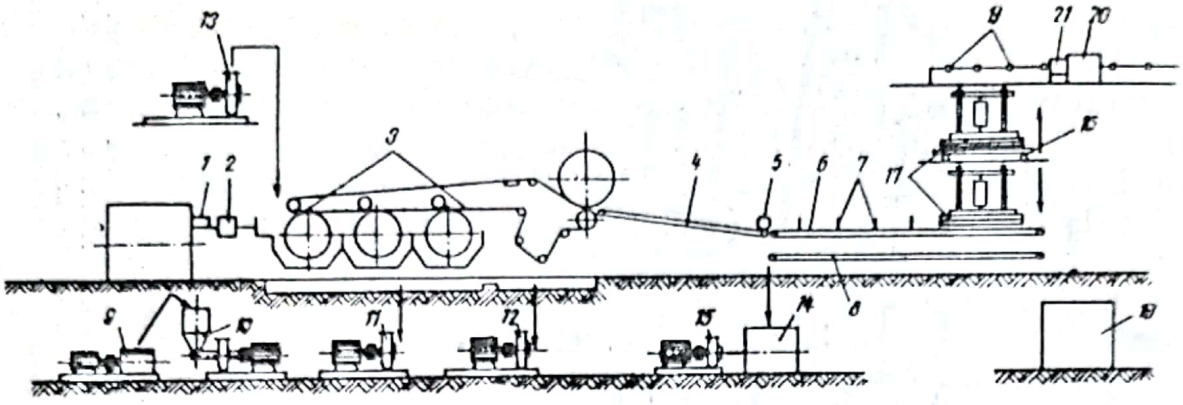


Fig. 11.8. Instalație pentru formarea și fasonarea plăcilor de azbociment din suspensie :

1 — dispozitiv de alimentare; *2* — preomogenizator; *3* — mașina de formare; *4* — bandă transportoare; *5* — cuțite de tăiere longitudinală; *6, 8* — benzi transportoare; *7* — cuțite de tăiere transversală; *9* — pompă de vid; *10* — recipienți de colectare a apei; *11* — pompe de apă reziduală murdară; *12* — pompe de apă reziduală purificată; *13* — pompe de presiune pentru apă; *14* — malaxor pentru deșeuri; *15* — pompă de recirculare; *16* — bandă de ondulare; *17* — casetă de prelucrare și ondulare; *18* — presă pentru plăci plane; *19* — role transportoare; *20* — dsipozitiv de curățare; *21* — dispozitiv de ungere.

realizează ondularea plăcii. Între manșoane sînt prevăzuți tiranții 7 care limitează cursa manșoanelor. Ventuzele sînt prevăzute cu membrane de cauciuc *6* care, în condiții de depresiune, aderă la suprafața plăcii de azbociment, provocînd ondularea propriu-zisă.

Într-o primă fază, dispozitivul de ondulare aflat în poziția „deschisă" (poziția *A* din figura 11.9), cu ventuzele distanțate, se aplică pe placa crudă de azbociment. În faza următoare se creează depresiune în instalație, ventuzele aderă la placă și întregul ansamblu este ridicat ; manșoanele acționate de dispozitivul *9—10* se apropie între ele și spre manșonul fix *3'*, ceea ce determină ondularea plăcii (poziția *B* din fig. 11.9).

Formarea plăcilor din pastă de azbociment presupune prelucrarea unui amestec de azbest+ciment+apă, conținînd aproximativ 70—75% apă. După o asemenea metodă, plăcile se realizează prin turnarea directă a pastei într-un strat de o anumită grosime, extragerea parțială a apei prin vidare și compactarea plăcii prin laminare cu ajutorul unor valțuri. Această metodă prezintă unele avantaje, cum sînt :

— obținerea unor plăci de lungimi nelimitate ;

— reglarea grosimii plăcilor în limite largi ;

— realizarea unei structuri nestratificate ;

— ondularea plăcilor direct în procesul de formare ;

— un consum de apă mai redus și deci un consum de energie mai mic pentru încălzirea ei la 30—40 °C ;

Scanned with OKEN Scanner

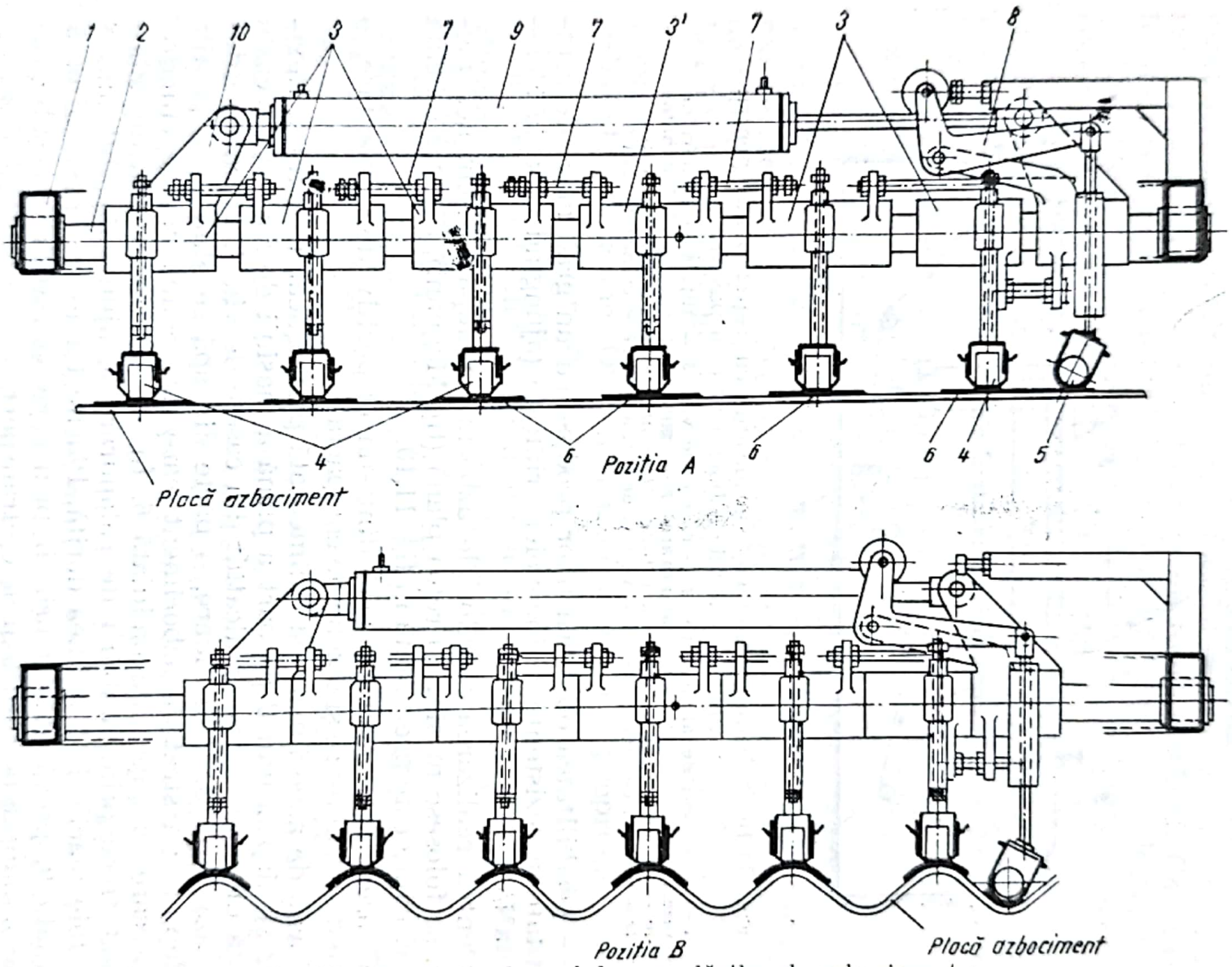


Fig. 11.9. Instalație de ondulare a plăcilor de azbociment :

1 — șasiu; *2* — tijă de ghidaj; *3* — manșoane; *3'* — manșon fix; *4, 5* — ventuze; *6* — membrane de cauciuc; *7* — tiranți; *8* — leveir; *9, 10* — dispozitiv de acționare a manșoanelor.

Scanned with OKEN Scanner

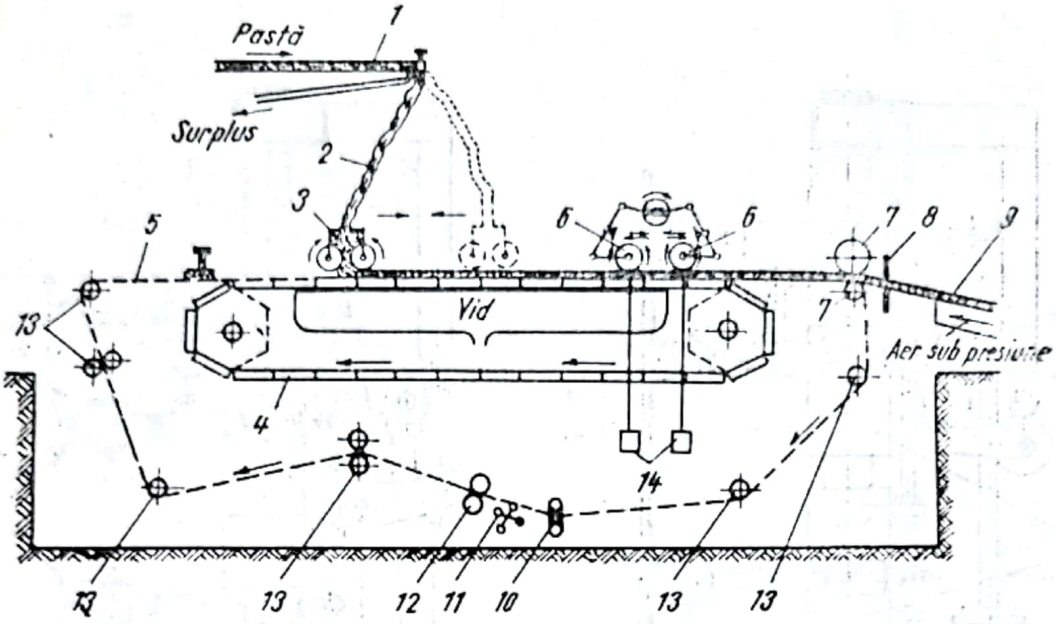


Fig. 11.10. Schema tehnologică a mașinii cu rețea plană pentru formarea plăcilor de azbociment (din pastă) :

1—3 — sistem de alimentare; *4* — casete de vid; *5* — filț; *6* — cilindri de presare; *7* — tamburi de calandrare; *8* — ghilotină; *9* — masă înclinată; *10* — dispozitiv de scuturare a filțului; *11* — instalație de spălare a filțului; *12* — valțuri de stoarcere; *13* — valțuri de întindere; *14* — contragreutăți.

— posibilitatea obținerii unor produse cu un grad mare de compactitate și rezistențe la încovoiere ridicate (ajungînd pînă la 300—350 daN/cm^2).

Pentru realizarea plăcilor de azbociment după o asemenea metodă se folosesc mașini cu rețea plană (tip Magnani), a căror schemă de principiu este prezentată în fig. 11.10.

O asemenea mașină constă dintr-un dispozitiv de alimentare, o parte de vacuumare și o zonă de compactare.

Pasta de azbociment este alimentată prin jgheabul *1*, tubul flexibil *2* și dispozitivul *3* pe partea plană a mașinii de format ; aceasta constă dintr-un conveier alcătuit din casete de vid *4*, pe care se deplasează filțul *5*. Prin vidare, o parte din apă se elimină și pe filț se depune un strat de azbociment, care este compactat de cilindrii de presare cu suprafața ondulată *6*. În continuare, stratul de azbociment trece prin tamburii de calandrare *7*, ajunge la ghilotina *8* care taie plăcile la lungimea dorită. Plăcile tăiate trec peste o masă înclinată *9*, prevăzută cu orificii prin care se insuflă aer sub presiune și alunecă pe cărucioarele de transport.

Filțul eliberat de stratul de azbociment este supus operațiilor de scuturare, spălare, stoarcere și întindere, cu ajutorul dispozitivelor

Scanned with OKEN Scanner

10, 11, 12, 13. Contragreutățile *14* asigură întinderea ansamblului de cilindri de presare.

11.3.3.2. **Formarea tuburilor de azbociment.** Tuburile de azbociment au căpătat în ultimul timp o largă utilizare, înlocuind cu bune rezultate, în unele domenii, tuburile de fontă sau oțel. Ca urmare, în prezent se fabrică tuburi de azbociment cu multiple destinații.

Formarea tuburilor de azbociment se poate realiza prin trei procedee și anume :

— formarea tuburilor pe un tambur de formare, avînd dimensiunile corespunzătoare celor ale tuburilor ce se fabrică, prin depunerea de straturi succesive de azbociment, formate pe cilindrul cu plasă ;

— formarea tuburilor direct pe cilindrul cu plasă care, în acest caz trebuie să aibă dimensiunile tuburilor care se fabrică ;

— formarea tuburilor prin centrifugare.

O extindere largă a cunoscut îndeosebi primul dintre procedee, asemănător în principiu cu acela de formare a plăcilor prin depunerea de straturi succesive de azbociment, din suspensie. Tehnologia de formare a tuburilor de azbociment prezintă totuși unele particularități, impuse de destinația tuburilor, de unele proprietăți specifice pe care trebuie să le prezinte : rezistențe mecanice mai mari comparativ cu plăcile de azbociment, rezistențe bune la abraziune, gelivitate, coroziune. Obținerea unor asemenea proprietăți presupune o compactitate crescută a pereților tubului, realizabilă prin folosirea unor suspensii de azbociment mai diluate, conținînd numai 6—8% material solid. În felul acesta, straturile care se formează pe cilindrul cu plasă și se depun ulterior pe tamburul de formare au grosimi mai mici.

Compactitatea tuburilor este dependentă de presiunea exercitată asupra straturilor elementare de azbociment în timpul formării tubului. Un grad mai mare de compactitate se realizează prin folosirea unor presiuni mai mari. Pentru a se evita apariția unor deformări ale tuburilor (lărgirea lui pe mandrină sau chiar ruperea) ca rezultat al menținerii presiunii ridicate timp îndelungat, este indicată aplicarea unor presiuni variabile în timp și anume : într-o primă perioadă de înfășurare a straturilor de azbociment se aplică o presiune mai mare timp de maxim. 5 secunde, în funcție de diametrul tubului ; în continuare, presiunea scade continuu odată cu creșterea grosimii peretelui, pînă la o presiune minimă de formare, care trebuie să se mențină cel mult 10 secunde. În fig. 11.11 se prezintă curba variației presiunii de formare a tuburilor de azbociment.

La îmbunătățirea proprietăților fizico-mecanice ale tuburilor contribuie în mod esențial utilizarea unor materii prime — ciment și azbest, de calitate superioară.

Scanned with OKEN Scanner

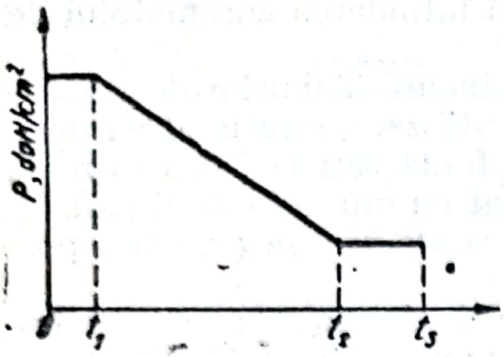


Fig. 11.11. Variația în timp a presiunii la formarea tuburilor de azbociment.

Instalația de formare a tuburilor de azbociment din suspensie, funcționînd pe principiul depunerii straturilor succesive de azbociment pe un tambur de formare, este prezentată în fig. 11.12.

Suspensia de azbociment este adusă din malaxor în bazinul *1*, prin intermediul jgheabului cu amestecător *2*. În bazin, suspensia este amestecată continuu cu agitatoarele *3*, pentru a se evita sedimentarea. Bazinul este prevăzut cu o diafragmă *5*, care împiedică proiectarea jetului de suspensie de azbociment alimentat în bazin, direct pe cilindrul cu plasă *4*. La partea superioară a cilindrului cu plasă sînt montate tuburile de stropire *6* și *7*, dintre care primul realizează spălarea continuă a sitei cilindrului, iar al doilea — spălarea în perioadele în care mașina este oprită pentru a se înlocui tamburul de formare.

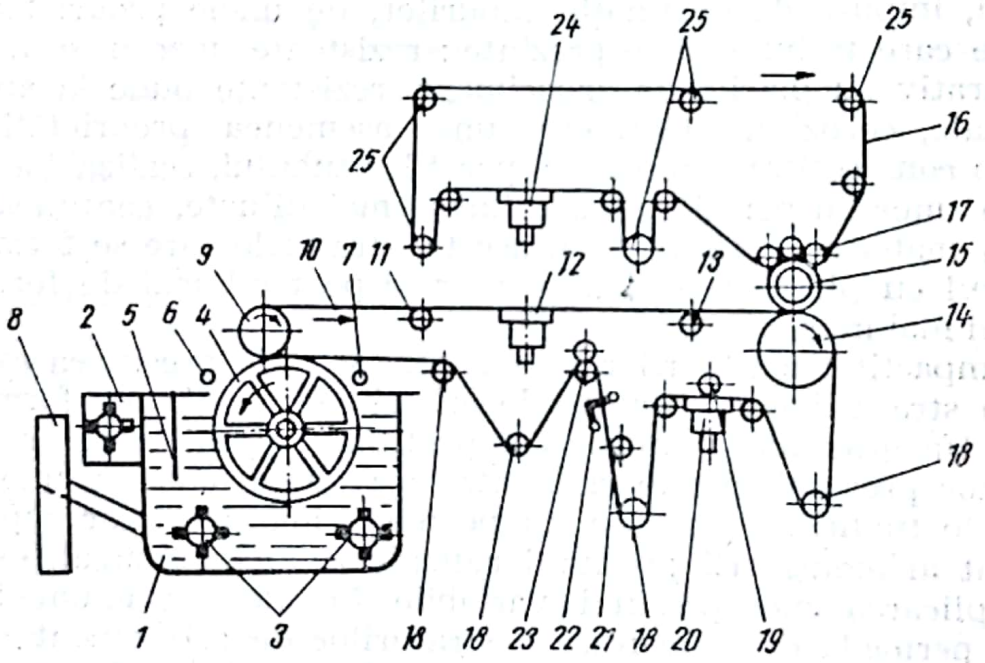


Fig. 11.12. Schema tehnologică a mașinii de formare a tuburilor de azbociment din suspensie :

1 — bazin; *2* — jgheab cu amestecător; *3* — agitatoare; *4* — cilindru cu plasă; *5* — diafragmă; *6*, *7* — țevi de spălare a cilindrului cu plasă; *8* — regulator automat al volumului de suspensie din bazin; *9* — valț de presare; *10* — filț; *11*, *13* — role de susținere; *12*, *20*, *24* — camere de vid; *14* — tambur de întoarcere; *15* — tambur de formare; *16* — filț superior; *17* — valțuri de presare; *18* — role de întindere; *19* — dispozitiv de spălare a filțului; *21* — dispozitiv de scuturare a filțului; *22* — instalație de spălare finală a filțului; *23* — valțuri de stoarcere; *25* — role de întoarcere-întindere.

Scanned with OKEN Scanner

Instalația este prevăzută cu un regulator automat al nivelului suspensiei din bazin *8*, care are scopul de a menține constant acest nivel și în perioadele în care instalația se oprește pentru a se schimba tamburul de formare.

Prin rotirea cilindrului cu plasă în bazinul cu suspensie, pe el se depune un strat de azbociment, care este preluat ulterior prin intermediul valțului de presare *9*, de către banda de postav *10*. Aceasta se deplasează peste rolele de susținere *11* și ajunge la camera de vid *12* unde se reține o parte din apă. În continuare, banda se deplasează peste rolele de susținere *13* și ajunge la tamburul de formare *15*. Prin presare între acesta și tamburul de întoarcere *14* care se rotește în sens contrar, stratul de azbociment trece pe tamburul de formare unde, prin depunerea mai multor straturi succesive, se formează tubul. Compactarea straturilor succesive se realizează prin presare cu un sistem de valțuri *17*, prin intermediul unei alte benzi de postav *16*, denumită filț superior.

Banda de postav de pe care s-a desprins stratul de azbociment își continuă drumul spre cilindrul cu plasă, fiind supusă unor operații de curățire : un sistem de țevi *19* spală banda după care, într-o cameră cu vid *20* se reține o parte din apă ; în continuare, banda este scuturată de un sistem de valțuri *21*, spălată din nou cu dispozitivul *22* și stoarsă între valțurile *23*. În cele din urmă, trecînd peste o serie de role de întindere *18*, banda pregătită pentru a prelua un nou strat de azbociment ajunge la cilindrul cu plasă.

Filțul superior se deplasează și el peste o serie de role de întindere-întoarcere *25* și printr-o cameră de vid *24*, după care ajunge din nou la tamburii de presare.

Tuburile astfel formate sînt deplasate către instalația denumită *calandru*, care realizează desprinderea tubului de pe instalația de formare în vederea extragerii sale ulterioare mai ușoare. Calandrul constă, în principiu, dintr-un grup de valțuri avînd lungimea egală cu a tubului, care se rotesc imprimînd și tubului o mișcare de rotație și realizînd, în același timp, o presiune asupra acestuia.

După calandrare, tubul este extras de pe tamburul de formare cu ajutorul unor dispozitive speciale. Pentru a se evita deformarea tubului, se introduc fie miezuri cilindrice — pe toată lungimea tubului, denumite mandrine false, fie manșoane din lemn, aluminiu sau azbest — numai la extremități.

O perfecționare adusă mașinilor de format tuburi constă în eliminarea filțului superior. În acest caz, pentru ca stratul compact de azbociment să nu se desprindă de pe tamburul de formare, se impune o prelucrare foarte îngrijită a suprafeței valțurilor de presare, confecționate din oțeluri speciale, inoxidabile.

Scanned with OKEN Scanner

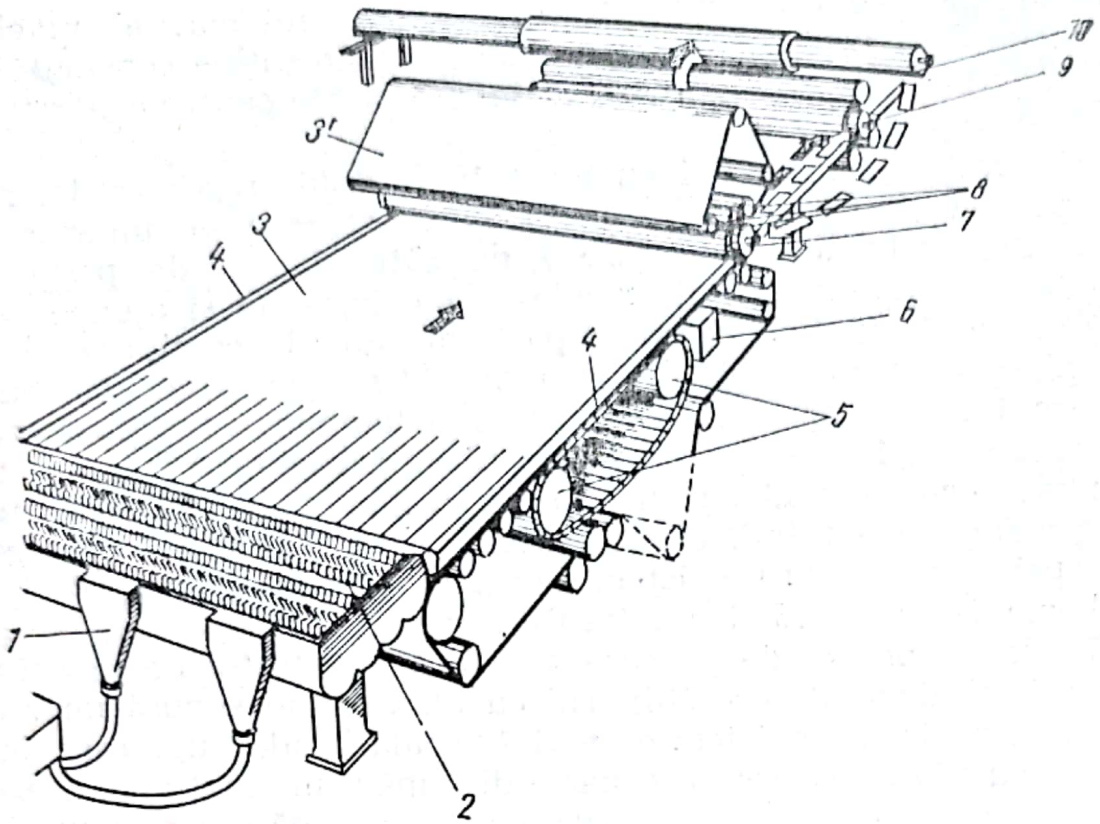


Fig. 11.13. Schema mașinii de formare a tuburilor de azbociment de presiune, prin procedeul Magnani (din pastă) :

1 — alimentare pastă; *2* — dispozitiv de distribuire a pastei; *3* — filț; *3'* — filț superior; *4* — benzi de cauciuc; *5* — camere de vid rotative; *6* — cameră de vid obișnuită; *7* — tambur de formare; *8* — valțuri de presare; *9* — calandru; *10* — extragerea mandrinei.

Ca și în cazul plăcilor, tuburile de azbociment se pot forma și din *pastă de azbociment,* folosindu-se în acest scop instalații diferite pentru tuburile de presiune și pentru cele care vor funcționa fără presiune.

Pentru realizarea tuburilor de presiune se pot utiliza instalații de tipul celei prezentate în fig. 11.13.

Pasta de azbociment se distribuie cu ajutorul unui dispozitiv special *2* pe un filț *3*, deversarea ei fiind oprită de benzile laterale de cauciuc *4*. În timpul deplasării filțului, o parte din apa conținută în pastă este reținută de către camerele de vid *5* și *6*, după care stratul de pastă este preluat de tamburul de formare *7* și compactat cu ajutorul valțurilor *8*, pe care este înfășurat filțul superior *3'*. Pe tamburul de formare se depun mai multe straturi elementare de grosimi mai mari decît în cazul formării tuburilor din suspensii de azbociment.

Tuburile care funcționează la presiune normală se pot forma prin procedeul de turnare a pastei direct pe tamburul de formare, după cum rezultă din fig. 11.14.

Scanned with OKEN Scanner

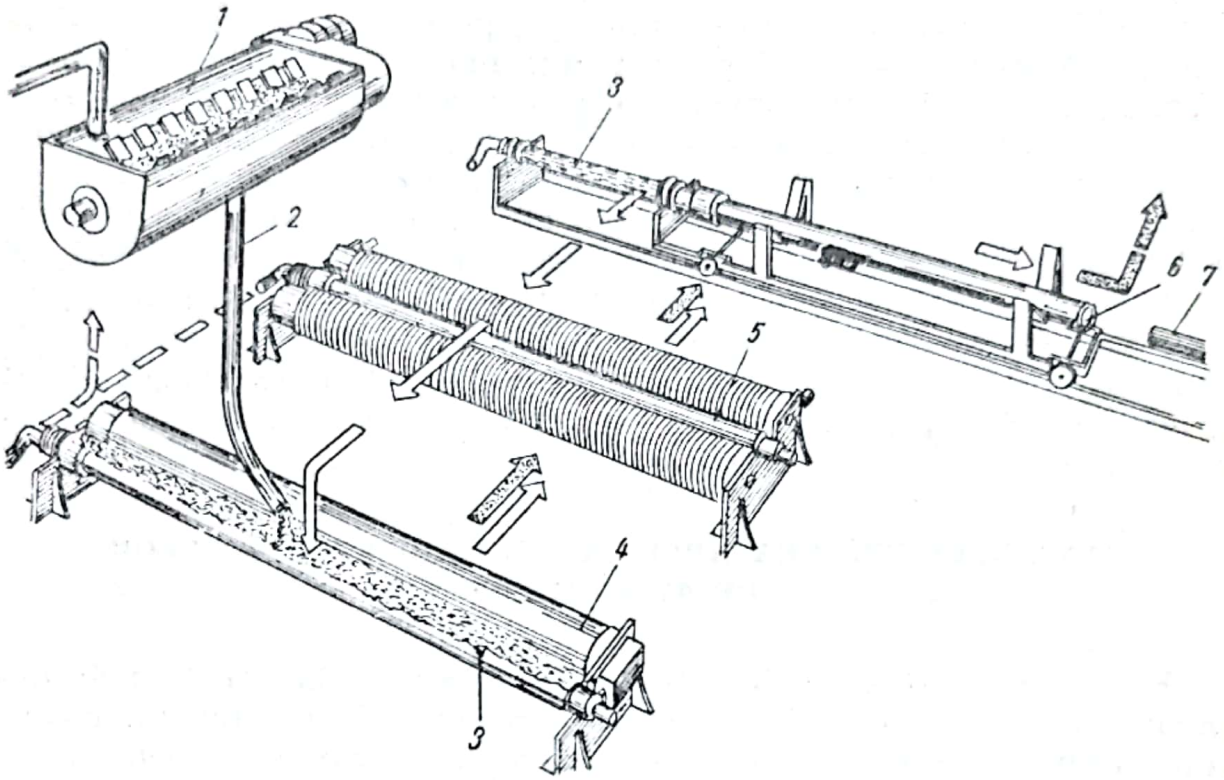


Fig. 11.14. Schema tehnologică a instalației de formare a tuburilor de azbociment pentru presiune normală, după procedeul Magnani :
1 — rezervor de pastă; *2* — tub de cauciuc distribuitor; *3* — tambur de formare; *4* — valț de presare; *5* — calandru; *6* — extragere tub; 7 — mandrină falsă.

Pasta este distribuită dintr-un rezervor *1* cu ajutorul unui dispozitiv *2* pe tamburul de formare *3*, perforat și acoperit cu o pînză. Dispozitivul *2* realizează distribuirea pastei pe întreaga lungime a tamburului, care este conectat la un sistem de vidare, așa încît o parte din apa din pastă se elimină. Compactarea stratului de azbociment se realizează cu ajutorul valțului cu caneluri *4* care are o mișcare de rotație concentrică cu tamburul *4*, dar cu viteză mai mare.

După realizarea grosimii impuse tubului, alimentarea se întrerupe, tamburul de formare continuînd să se rotească un timp, în care presiunea de compactare crește treptat. Tubul se calandrează între valțurile *5*, după care se extrage de pe mandrină.

11.3.3.3. **Formarea altor produse de azbociment.** Produsele de azbociment cu formă specială se pot realiza prin două tipuri de metode :

— manuală ;
— prin injecția pastei de azbociment.

Formarea manuală a produselor de azbociment presupune inițial realizarea unor plăci de azbociment — din pastă sau suspensie, din

Scanned with OKEN Scanner

care se decupează apoi, după șabloane, porțiuni care se rulează pe matrițe. Matrițele — din lemn sau alte materiale nedeformabile, au forma produsului care urmează a se confecționa și sînt constituite din două părți, pentru a permite decofrarea mai ușoară. Pentru o mulare cît mai bună, ca și pentru realizarea îmbinărilor, se folosesc drept scule ciocane de lemn, mistrii etc. În țara noastră, acest procedeu este folosit pentru formarea accesoriilor pentru acoperișuri.

Formarea prin injecție constă în introducerea, sub presiune, a unei suspensii concentrate (conținînd aproximativ 18—22% solid), într-un spațiu creat între un miez de cauciuc și suprafața interioară a unei matrițe fin perforate, care are forma produsului ce se realizează.

11.3.4. RECUPERAREA APEI LA FORMAREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

Formarea produselor de azbociment prin metoda umedă, prin depunere de azbociment din suspensie, presupune consumul unor cantități importante de apă — atît pentru prepararea suspensiei de azbociment, cît și pentru spălarea benzii de postav și a cilindrului cu plasă. De aceea, un loc important în fabricarea azbocimentului, ocupă instalațiile de recuperare a apei și a unor cantități de azbociment.

Recuperarea apei este impusă de o serie de considerente, dintre care se pot menționa :

— economisirea de apă (importantă îndeosebi atunci cînd nu se dispune de o sursă apropiată) și de energie calorică — necesară pentru încălzirea apei la temperatura de 30—40 °C ;

— evitarea înfundării canalelor de scurgere prin evacuarea apei care conține circa 0,25% azbociment ;

— recuperarea simultan cu apa a unei cantități de azbociment, care deși calitativ inferior, se reintroduce în circuitul de fabricație.

Pentru recuperare, apa rezultată în instalația de formare a plăcilor și tuburilor se supune unui proces de decantare și limpezire, folosindu-se în acest scop decantoare cilindrice sau conice. Procesul de recuperare a apei la fabricarea produselor de azbociment din suspensie poate fi reprezentat schematic ca în fig. 11.15.

Apa rezultată la mașinile de formare este trimisă prin conducte într-un bazin de colectare *1*, de unde cu ajutorul unor pompe centrifuge *2* este transportată la un rezervor *3* și de aici la decantoarele *4*.

Scanned with OKEN Scanner

În acestea are loc separarea apei de fracțiunea solidă de azbociment, care se depune la baza decantoarelor. Apa limpezită este dirijată către un rezervor colector 5, unde se aduce și cantitatea suplimentară de apă proaspătă, necesară procesului de fabricație. Prin intermediul pompelor centrifuge, apa este trimisă la mașinile de formare 8, pentru spălarea cilindrului cu plasă și a filtului.

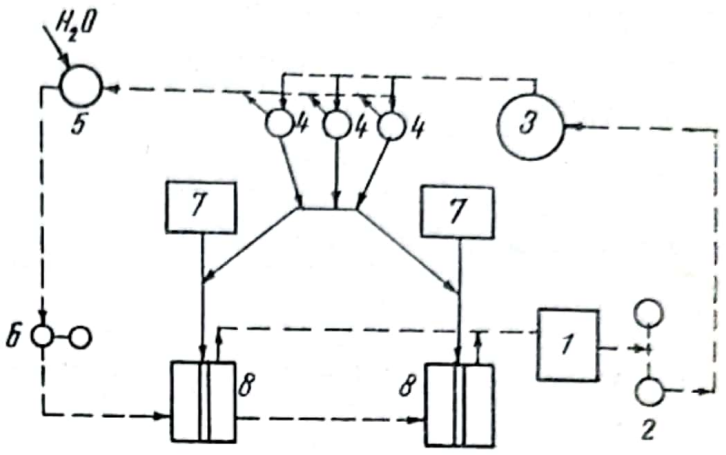


Fig. 11.15. Schema tehnologică de recuperare a apei la fabricarea produselor de azbociment :

1 — bazin de colectare; *2, 6* pompe; *3* — rezervor; *4* — decantoare; *5* — rezervor colector; *7* — malaxoare; *8* — mașini de formare.

Pasta de azbociment care se separă în decantoare se dirijează pe jgheabul dintre malaxoarele 7 și mașinile de formare *8* în care se introduce împreună cu suspensia proaspăt preparată, reintrînd în ciclul de fabricație.

11.3.5. ÎNTĂRIREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

Întărirea produselor de azbociment este rezultatul proceselor fizico-chimice care au loc în sistemul ciment apă, în primul rînd. De aceea, ca și în cazul mortarelor sau betoanelor, este importantă asigurarea unei umidități a mediului în care se păstrează produsele de azbociment după formare, o anumită perioadă de timp.

Pentru acest motiv este bine ca produsele de azbociment să fie păstrate pentru întărire în încăperi închise etanș și asigurîndu-se o temperatură mai ridicată, care determină accelerarea procesului de întărire. Întărirea produselor de azbociment presupune două etape :

— întărirea prealabilă, în urma căreia produsele trebuie să dobîndească o rezistență la încovoiere de minimum 40 daN/cm^2, așa încît să poată fi scoase de pe suporturi și manipulate ;

— întărirea definitivă, prin care produsele dobîndesc rezistența mecanică impusă.

În funcție de natura produselor, realizarea acestor două etape presupune unele particularități.

11.3.5.1. **Întărirea plăcilor de azbociment.** Întărirea plăcilor în prima etapă — *întărirea prealabilă,* se poate realiza în condiții diferite și anume :

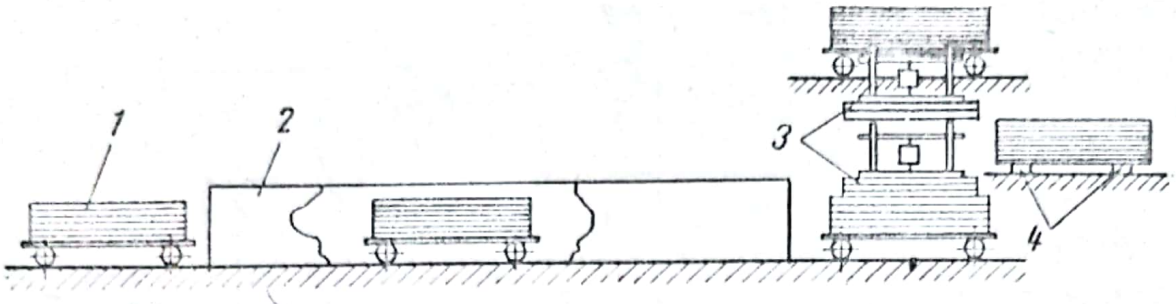


Fig. 11.16. Întărirea plăcilor de azbociment prin aburire :
1 — vagonet cu plăci; 2 — tunel de aburire; 3 — casete de prelucrare și stivuire a plăcilor și matrițelor; 4 — suport pentru stivuirea plăcilor întărite.

— în condiții normale, prin menținerea stivelor de matrițe cu plăci în hala de fabricație, unde umiditatea relativă este de aproximativ 60% ;

— în spații închise, prin introducerea stivelor de matrițe cu plăci în tunele sau camere închise ;

— prin aburire în tunele, la temperaturi de 50—60 °C și umiditate relativă 90%, timp de 7—10 ore.

Pentru *întărirea definitivă* se poate practica una din următoarele metode :

— întărirea în condiții normale, prin depozitarea plăcilor decofrate în spații închise, avînd umiditate relativă 60%, timp de 6—7 zile ;

— întărirea în apă, realizabilă prin introducerea plăcilor în bazine cu apă rece sau caldă, unde se țin perioade de timp diferite (24 ore — 7 zile) ;

— întărirea în autoclavă, în condiții de temperatură și presiune ridicată.

În fig. 11.16 se prezintă schematic întărirea plăcilor de azbociment prin aburire în tunel, metodă practicată și în țara noastră.

11.3.5.2. **Întărirea tuburilor de azbociment.** Ca și în cazul plăcilor, întărirea tuburilor de azbociment se realizează în două etape, în condiții diferite.

Întărirea prealabilă se poate realiza la temperatură normală, în medii cu umiditate relativă peste 60%, precum și prin aburire în tunele la temperaturi de 30—35 °C, în care tuburile se deplasează pe conveier.

Întărirea definitivă se poate face în următoarele condiții :

— în apă la temperatura camerei, unde tuburile se păstrează 7—10 zile ;

— în apă și depozit, prin păstrarea tuburilor în bazine cu apă caldă (30—35 °C) timp de 2—3 zile, urmată de păstrarea lor în depozite închise timp de 10—14 zile ;

Scanned with OKEN Scanner

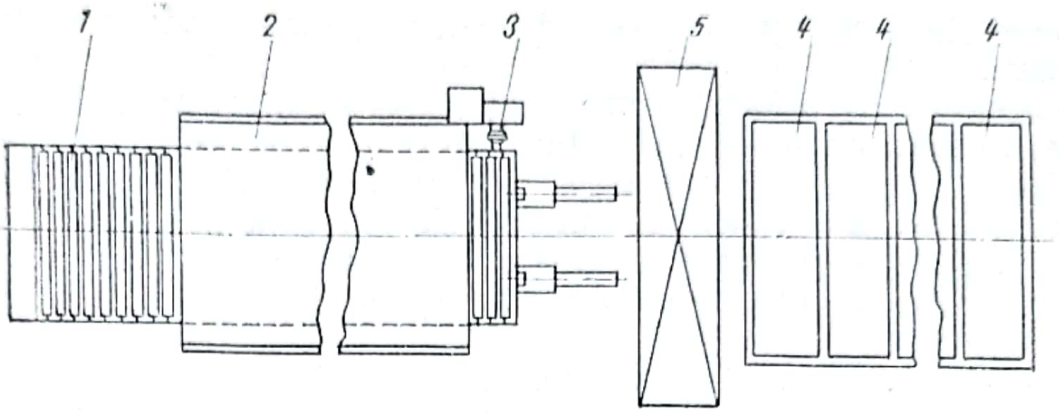


Fig. 11.17. Întărirea tuburilor de azbociment :
1 — conveier cu role; 2 — tunel de aburire; 3 — dispozitiv de descărcare a tuburilor ieşite de pe conveier; 4 — bazine cu apă; 5 — pod rulant.

— întărirea în autoclavă, la presiuni variind între 2 şi 15 at şi temperaturi corespunzătoare vaporilor saturanţi (130—200 °C).

În ţara noastră, întărirea prealabilă a tuburilor se realizează prin întărirea în tunel, unde ele se deplasează pe conveier. Întărirea definitivă se face prin menţinerea tuburilor 7—14 zile în bazine cu apă. Întregul proces de întărire este prezentat schematic în fig. 11.17.

11.3.6. COLORAREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

Pentru utilizarea în scopuri decorative, produsele de azbociment se pot colora în nuanţe diferite, colorarea fiind realizabilă fie în timpul fasonării produselor, fie după întărirea lor.

11.3.6.1. **Colorarea în procesul de formare.** În funcţie de modul în care se realizează, colorarea produselor de azbociment în timpul formării poate conduce la obţinerea de produse colorate în profunzime sau produse colorate superficial.

Colorarea în profunzime se realizează folosind pentru formarea produselor suspensii de azbociment colorate. Pentru aceasta se utilizează ca liant ciment alb cu adaosuri colorante sau cimenturi colorate.

Colorarea superficială (de suprafaţă) este metoda cea mai utilizată în prezent, datorită faptului că presupune un consum redus de ciment alb şi colorat, precum şi de pigmenţi. Colorarea de suprafaţă se poate realiza în diferite moduri şi anume :

— formarea unui strat superficial de azbociment colorat la suprafaţa stratului de bază, folosindu-se în acest scop încă un cilindru cu plasă ; stratul colorant constă din aproximativ 80—85% ciment, 2—10% pigment şi 10—15% azbest, iar diluţia suspensiei

Scanned with OKEN Scanner

trebuie să fie aproximativ aceeași cu a suspensiei obișnuite de azbociment ;

— acoperirea suprafeței produselor cu un amestec pulverulent colorat, format din 88—99,5% ciment și 0,5—12% pigment ;

— pulverizarea unei suspensii colorate formată din ciment, pigment și apă, pe suprafața stratului crud de azbociment.

În fig. 11.18 se prezintă schema unei instalații de colorare a produselor de azbociment prin pulverizare.

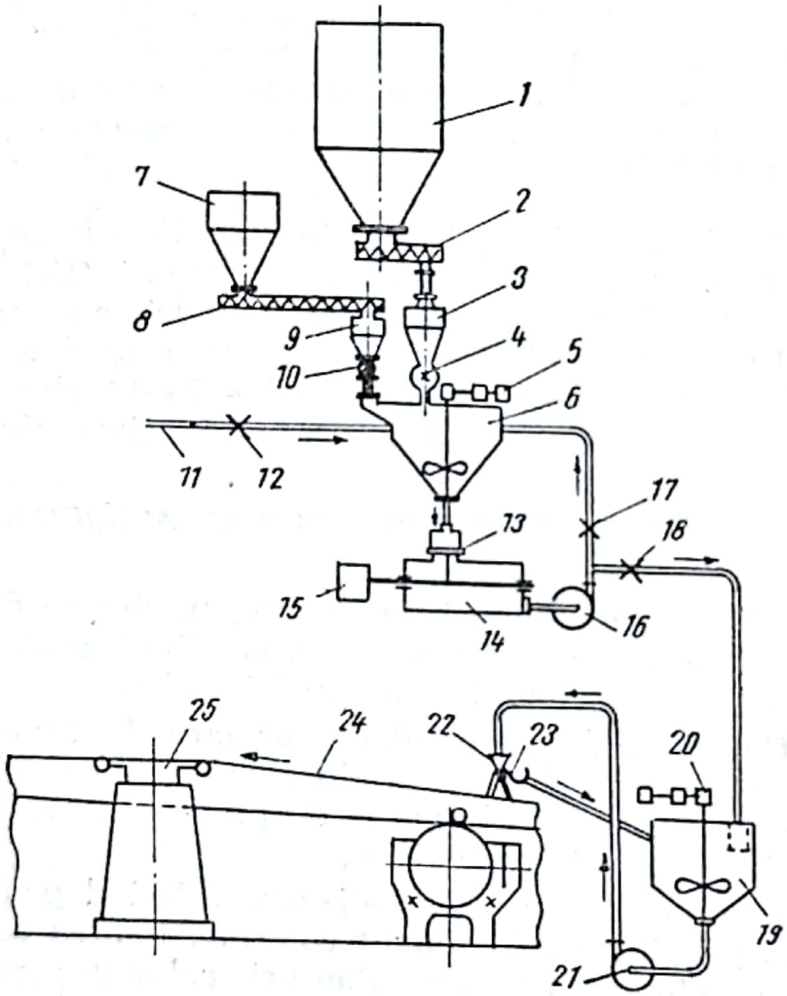


Fig. 11.18. Schema tehnologică a instalației de colorare a produselor de azbociment prin pulverizare :

1 — buncăr de ciment; *2* — transportor cu șnec; *3, 9* — dozatoare gravimetrice; *4, 10* — distribuitoare celulare; *5* — sistem de acționare a amestecătorului elicoidal; *6* — amestecător elicoidal; *7* — buncăr pentru pigment; *8* — transportor elicoidal; *11* — conductă de apă; *12, 17, 18* — robinete; *13* — site; *14* — moară vibratoare; *15* — sistem de acționare a morii; *16, 21* — pompe; *19* — amestecător elicoidal pentru colorant; *20* — sistem de acționare; *22* — pulverizator; *23* — jgheab; *24* — filț; *25* — cameră de vid.

Scanned with OKEN Scanner

Dintr-un buncăr *1*, cimentul este preluat de un transportor cu șnec *2* și prin intermediul dozatorului *3* și al distribuitorului celular *4* este introdus în amestecătorul elicoidal *6*. Aici se aduce și pigmentul dintr-un buncăr *7* printr-un transportor elicoidal *8*, un dozator *9* și un distribuitor celular *10*. Apa necesară preparării suspensiei se aduce prin conducta *11*. După o amestecare timp de aproximativ 5 min, suspensia este trecută în moara vibratoare *14* și prin intermediul pompei *16* se face o recirculare a ei în amestecător și moară, pentru a se realiza mărunțirea cît mai fină a particulelor solide și o bună omogenizare. La tecerea din amestecător în moară este prevăzută o sită *13* cu ochiuri de 0,5—0,6 mm, pe care se reține eventualele impurități mai grosiere. În continuare, suspensia colorată este trecută într-un amestecător de distribuție *19*, de unde cu o pompă *21* este trimisă la instalația de pulverizare *22*. Aceasta pulverizează suspensia pe suprafața stratului de azbociment depus pe filtul *24* al mașinii de formare, înainte de trecerea acestuia prin camera de vid. Un jgheab *23* colectează suspensia care se pierde la pulverizare.

11.3.6.2. **Colorarea produselor după întărire.** Produsele de azbociment destinate lucrărilor exterioare sau tehnico-sanitare se pot acoperi cu un strat colorat, care pe lîngă aspectul estetic, conferă produselor rezistențe mai bune la acțiunea apei și agenților chimici, precum și rezistențe mecanice superioare.

Acoperirea cu lacuri colorante se face după întărirea produselor (după cel puțin 3—4 săptămîni de la formare). Pentru asigurarea unei bune adeziuni a lacului colorant la azbociment, produsele nu trebuie să aibă o umiditate mai mare de 7% ; în caz contrar este necesară uscarea lor prealabilă la 50—60 °C.

Obținerea produselor acoperite cu lac presupune pregătirea produselor pentru acoperire, pregătirea amestecurilor colorante și aplicarea acestora pe suprafața produselor.

Aplicarea lacurilor colorante pe produsele de azbociment se realizează de obicei prin pulverizarea acestora pe suprafața produselor în mai multe straturi succesive, urmată de fiecare dată de uscare la temperaturi de 40—50 °C, perioade de timp riguros stabilite în funcție de natura lacului.

11.3.7. FINISAREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

La ieșirea din mașina de fasonat, produsele de azbociment prezintă unele imperfecțiuni, cum ar fi margini neuniforme ca grosime, depășirea dimensiunilor standardizate etc. În plus, sînt necesare unele prelucrări mecanice impuse de destinația particulară pe care produsele o au. De aceea, după ce au dobîndit prin întărire o anu-

Scanned with OKEN Scanner

mită rezistență mecanică, produsele de azbociment sînt supuse unor operații de finisare.

Plăcile de azbociment, în funcție de destinația pe care o au, sînt tăiate și găurite uneori, cu utilaje asemănătoare celor folosite la prelucrarea lemnului sau tablei. Aceste operații se execută înainte de întărirea definitivă a produselor.

Finisarea tuburilor de azbociment presupune tăierea capetelor pentru a se elimina eventualele neuniformități de grosime ce pot apărea în aceste zone, cum și pentru aducerea lor la lungimea riguros corespunzătoare celei impuse. De asemenea, tuburile de azbociment necesită adesea strunjirea suprafețelor unde se face îmbinarea cu mufe, filetarea și tăierea mufelor.

Mufele din azbociment se taie din barele de mufă confecționate în acest scop și, pentru a se putea realiza îmbinarea cu tuburile, ele trebuie prelucrate mecanic în interior pentru a se obține profilul adecvat îmbinării.

11.4. PROPRIETĂȚILE PRODUSELOR DE AZBOCIMENT. UTILIZĂRI

Produsele de azbociment prezintă ca principale proprietăți caracteristice : permeabilitate mică la lichide și gaze, rezistențe mecanice bune, stabilitate termică ridicată, proprietăți termo- și fonoizolatoare.

Permeabilitatea produselor de azbociment față de apă (sau alte lichide) și gaze este condiționată de porozitatea acestora. În general, plăcile și tuburile de azbociment au, după aproximativ o lună de la formare, o porozitate de 30—35%, care se mai reduce în timp ca urmare a evoluției în continuare a procesului de întărire. Dimensiunile mici ale porilor explică impermeabilitatea bună a produselor de azbociment față de lichide și gaze. La aceasta contribuie și o compactitate ridicată a produselor, condiționată de :

— natura constituenților — compoziția mineralogică și finețea de măcinare a cimentului, tipul de azbest, gradul de defibrare și lungimea fibrelor ;

— dozajul de ciment și azbest în amestec ;

— tehnologia de formare a produselor.

Produsele de azbociment se caracterizează prin *rezistențe mecanice* deosebit de bune.

Principala caracteristică, din acest punct de vedere, este rezistența la încovoiere. Ea depinde în măsură importantă de natura cimentului și azbestului, de gradul de compactitate al produselor, de

Scanned with OKEN Scanner

tehnologia de formare a lor. Astfel, pentru produse de azbociment formate din suspensie, rezistența la încovoiere variază între 200 și 250 daN/cm^2. În cazul produselor obținute din pastă (avînd o compactitate mai mare), rezistența la încovoiere ajunge la 350—450 daN/cm^2.

Rezistența la compresiune a produselor de azbociment este de aproximativ 3—4 ori mai mare decît rezistența la încovoiere.

Produsele de azbociment au *stabilitate termică* bună, în sensul că rezistă bine la temperaturi de pînă la 150 °C. Prin încălzire la temperaturi mai ridicate au loc scăderi ale rezistențelor mecanice, mai accentuate pentru temperaturi ce depășesc 300 °C.

Conductivitatea termică a produselor de azbociment are valori cuprinse între 0,37 și 0,75 W/m·grd, în funcție de conținutul de azbest și ciment și de porozitatea produselor.

Caracteristice pentru produse de azbociment sînt, de asemenea, *stabilitatea bună față de agenți atmosferici* și *rezistența bună față de agenți corosivi.*

Ca urmare a proprietăților pe care le prezintă, produsele de azbociment au *utilizări* multiple. Astfel, plăcile de azbociment se pot folosi pentru placări exterioare, pentru realizarea de acoperișuri, pereți despărțitori etc. Din azbociment se pot executa construcții tehnico-sanitare cum ar fi : cabine de dușuri, pardoseli. În aceste situații, prin acoperirea cu lacuri se ajunge ca elementele confecționate din azbociment, datorită proprietăților estetice și de rezistență la uzură îmbunătățite, să înlocuiască cu succes materialele tradiționale cum sînt metalul, lemnul sau ceramica.

Din plăci de azbociment avînd profiluri corespunzătoare se pot realiza construcții cu destinații turistice, cum sînt de ex. căsuțele de vacanță.

Tuburile de azbociment sînt destinate realizării conductelor de apă sub presiune, conductelor pentru gaze naturale sau produse petroliere. Se folosesc, de asemenea, pentru canalizări, pentru realizarea canalelor de ventilație și de fum.

11.5. TRANSPORTUL, DEPOZITAREA ȘI EXPEDIEREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

Transportul produselor de azbociment în interiorul fabricii se realizează în general cu poduri rulante și cu cărucioare acționate electric — în cazul tuburilor și cu poduri rulante și cu autoîncărcătoare — în cazul plăcilor.

Scanned with OKEN Scanner

Transportul stivelor de plăci cu podul rulant se face prin intermediul unor dispozitive speciale, de construcții adecvate sistemului de transport.

Transportul tuburilor de azbociment cu ajutorul podului rulant presupune folosirea unor dispozitive de prindere a tuburilor, avîndu-se grijă ca acestea să nu se deterioreze.

Plăcile de azbociment se depozitează în depozitul destinat expediției, în stive avînd înălțimi de pînă la 2 m.

Tuburile se depozitează în poziție orizontală pe platforme, alcătuind stive de pînă la 4 m înălțime, consolidate pe toată înălțimea lor. Mufele se depozitează suprapuse, în poziție verticală.

Expedierea produselor de azbociment se face cu ajutorul vagoanelor de cale ferată sau al mijloacelor de transport auto.

Plăcile de azbociment se transportă la destinație numai în vagoane de cale ferată, așezate în poziție orizontală, în stive cu înălțimea maximă de 1,5 m. Pentru a evita deteriorarea lor prin șocuri mecanice, stivele ambalate prin balotare sau paletizare, se pun pe straturi de rumeguș sau talaș de lemn.

Tuburile de azbociment se transportă la destinație cu vagoane de cale ferată sau mijloace auto, pachetizate și așezate pe un strat de talaș, care să amortizeze șocurile mecanice.

11.6. CONTROLUL PRODUCȚIEI ȘI CALITĂȚII PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

Pentru realizarea unor produse calitativ superioare este deosebit de importantă respectarea tehnologiei de fabricație, a parametrilor tehnologici specifici produselor ce se realizează. În acest scop se impune controlul pe parcursul procesului tehnologic, pentru a se evita realizarea unor produse de calitate necorespunzătoare.

În fabricile de azbociment, controlul procesului tehnologic se realizează pe etape, după cum se indică în tabelul 11.2.

Tabelul 11.2

Parametrii controlați	Depozit azbest	Depozit ciment	Colergang	Malaxor	Mașină de formare	Tunel de maturizare	Bazine maturizare	Mașină tăiat și strunjit mufe strung tuburi
Umiditate azbest	+	−	+	−	−	−	−	−
Dozaj azbest	−	−	+	+	−	−	−	−
Finețe ciment	−	+	−	−	−	−	−	−

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 11.2 (continuare)

Parametrii controlați	Depozit azbest	Depozit ciment	Colergang	Malaxor	Mașină de formare	Tunel de maturizare	Bazine maturizare	Mașină tăiat și strunjit mufe strung tuburi
Priză ciment	—	+	—	—	—	—	—	—
Dozaj ciment	—	—	—	+	—	—	—	—
Grad de defibrare	—	—	+	—	—	—	—	—
Durată de defibrare	—	—	+	—	—	—	—	—
Concentrația pastei de azbociment	—	—	—	+	—	—	—	—
Concentrația suspensiei de azbociment din băile cilindrilor filtranți	—	—	—	—	+	—	—	—
Conținut de ciment și azbest reziduali în apa filtrată prin cilindrii filtranți (apă murdară)	—	—	—	—	+	—	—	—
Vacuum	—	—	—	—	+	—	—	—
Umiditate produs	—	—	—	—	+	—	—	—
Umiditate strat elementar	—	—	—	—	+	—	—	—
Grosime strat elementar	—	—	—	—	+	—	—	—
Timp de formare produs	—	—	—	—	+	—	—	—
Umiditate relativă	—	—	—	—	+	—	—	—
Temperatură aer	—	—	—	—	—	+	—	—
Caracteristici dimensionale ale mufelor și tuburilor	—	—	—	—	—	—	—	+
Temperatura apei	—	—	—	—	+	—	+	—

Notă: (+) se execută;
(—) nu se execută.

Controlul calității materiilor prime presupune verificarea calității azbestului — ca grad de mărunțire și de defibrare și a calității cimentului — finețe de măcinare și timp de priză.

Gradul de defibrare al azbestului se determină pe probe prelevate din colergang, în modul următor: o probă medie de 10 g azbest uscat se introduce într-un cilindru gradat și se adaugă apă pînă la un volum total de 1 000 cm^3. Se agită amestecul, se lasă în repaus timp de 30 min și se citește volumul de azbest sedimentat. Gradul de defibrare este proporțional cu volumul de azbest sedimentat.

Controlul procesului de preparare a amestecului de azbociment are scopul de a verifica respectarea dozajelor impuse de azbest, ciment și apă în amestec, precum și temperatura acestuia.

Scanned with OKEN Scanner

Controlul procesului de formare a produselor de azbociment urmărește respectarea principalilor parametri tehnologici, caracteristici acestei etape de fabricație :

— temperatura suspensiei de azbociment în bazinul cilindrului cu plasă ;

— umiditatea stratului de azbociment pe filț, în diferite puncte ale traseului acestuia ;

— grosimea stratului de azbociment depus pe filț și pe tamburul de formare ;

— temperatura apei de spălare a instalației ;

— concentrația în azbociment a apei folosită pentru spălare.

Controlul procesului de întărire a produselor urmărește verificarea parametrilor caracteristici condițiilor în care se realizează întărirea (umiditate, temperatură).

Controlul calității produselor finite presupune determinarea principalelor caracteristici fizico-mecanice ale fiecărei categorii de produse, după cum se arată în tabelul 11.3.

Tabelul 11.3

Caracteristici controlate	U/M	Tipul de produse		
		plăci ondulate	plăci plane	tuburi pentru presiune
Aspect	—	+	+	+
Dimensiuni	mm	+	+	+
Planitate	mm	—	+	—
Rectilinitate	—	—	—	+
Rezistență la rupere prin încovoiere	daN/cm²	+	+	+ (pt. diametru max. 150 mm)
Capacitate portantă (CP)	N/m	+	—	—
Absorbție de apă	%	—	+	—
Densitate aparentă	kg/dm³	—	+	—
Impermeabilitate	—	+	+	+
Rezistență la îngheț-dezgheț	—	+	+	—
Etanșeitate la presiune hidraulică de fabrică	at	—	—	+
Rezistență la spargere hidraulică	at	—	—	+
Rezistență la rupere prin strivire transversală	daN/cm²	—	—	+
Diametru interior minim	mm	—	—	+

Notă : (+) se execută ; (—) nu se execută.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru tuburi și mufe din azbociment destinate conductelor sub presiune, controlul calității se face conform STAS 7345-75, prin verificări individuale, verificări de lot și verificări periodice.

Verificările individuale se referă la :

— încercarea la presiune hidraulică de fabrică ;
— verificarea dimensiunilor ;
— verificarea aspectului produselor.

Verificările de lot se efectuează pe fiecare lot de produse și constau din :

— determinarea presiunii la spargere hidraulică interioară ;
— verificarea rectilinității ;
— încercarea la presiune hidraulică de fabrică pentru mufe.

Verificările periodice se efectuează cel puțin o dată la 6 luni, pe unul din loturile supuse verificării în perioada respectivă și constau din :

— determinarea rezistenței la strivire transversală ;
— determinarea rezistenței la încovoiere longitudinală ;
— verificarea diametrului interior al tubului.

Conform STAS 5936-75, controlul calității plăcilor de azbociment presupune verificări de lot și verificări periodice.

Verificările de lot se efectuează pe fiecare lot de produse și constau din :

— verificarea dimensiunilor ;
— verificarea aspectului ;
— determinarea rezistenței la întindere prin încovoiere.

Verificările periodice se efectuează pe unul din loturile de produse supuse încercării în perioada respectivă, sau ori de cîte ori se schimbă materiile prime sau ori de cîte ori apar modificări în tehnologia de fabricație. Ele constau din :

— verificarea impermeabilității produselor — la interval de 3 luni ;

— verificarea rezistenței la îngheț-dezgheț — la interval de 6 luni.

11.7. TENDINȚE MODERNE ÎN FABRICAREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

Pe plan mondial s-au manifestat și continuă să se înregistreze preocupări pentru perfecționarea procesului de fabricare a produselor de azbociment, fie sub aspectul tehnologiei de fabricație, fie prin înlocuirea unuia din constituenți — azbestul.

Scanned with OKEN Scanner

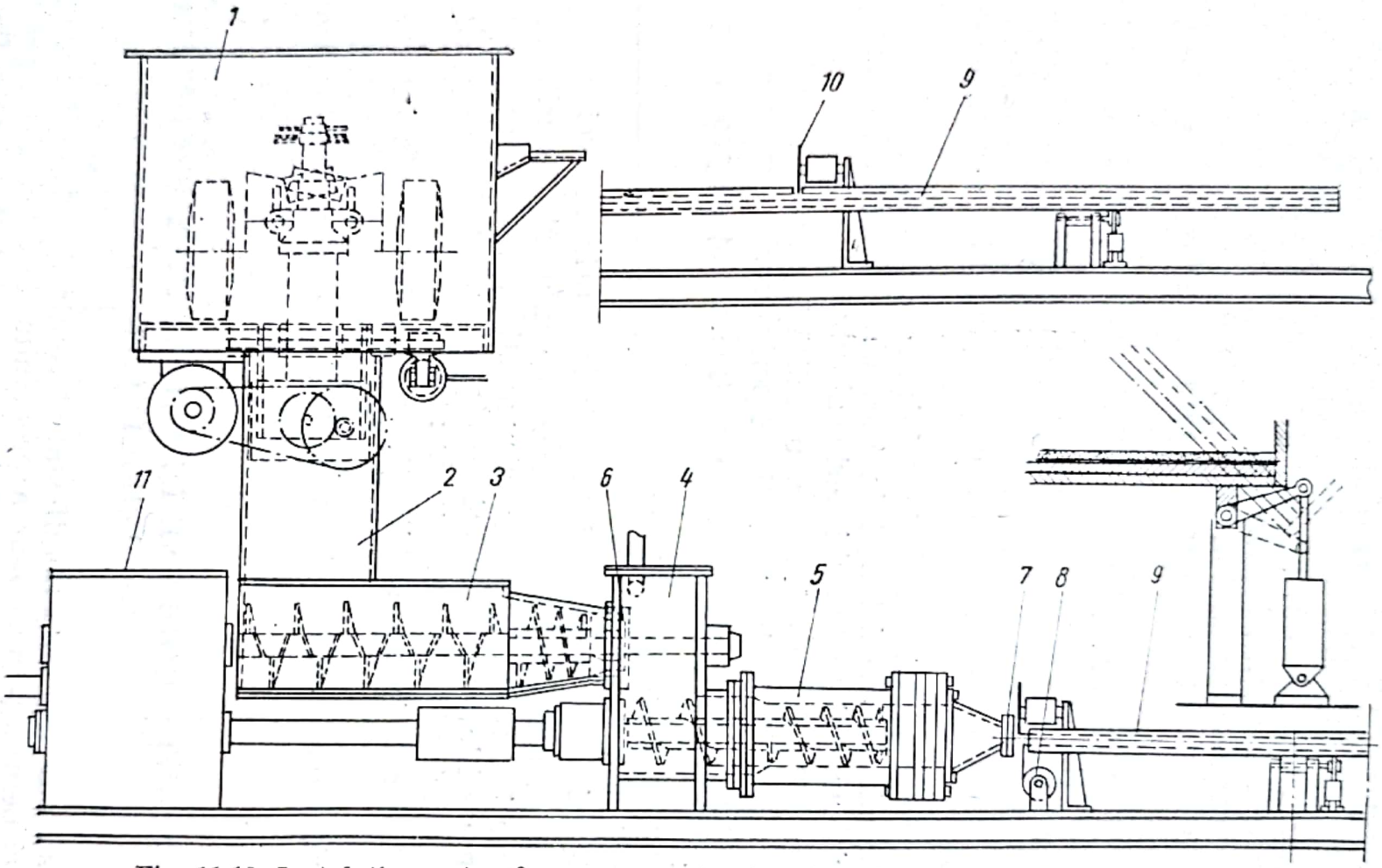


Fig. 11.19. Instalație pentru formarea produselor de azbociment prin extrudere :
1 — colergang; *2* — siloz; *3* — amestecător elicoidal; *4* — cameră de vid; *5* — presă melc (extruder); *6* — dispozitiv de vibrare; *7* — filieră de extrudere; *8* — rolă de acționare; *9* — masă de preluare produs; *10* — dispozitiv de rectificare.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, în scopul reducerii cantității de apă utilizată la prepararea amestecului de azbociment, au fost realizate tehnologii noi de *formare a unor produse de azbociment prin extrudere,* utilizate industrial în țări cum sînt S.U.A., Anglia, Mexic.

Un asemenea procedeu presupune realizarea amestecului de azbociment sub formă de pastă cu aproximativ 24% apă și folosirea ca utilaj specific pentru formarea produselor, a presei melc.

Un flux tehnologic de fasonare prin extrudere a produselor de azbociment se prezintă schematic în fig. 11.19.

Amestecarea constituenților se realizează în colergangul *1,* după care amestecul este trecut în camera *2* și de aici este introdus, pentru o mai bună omogenizare, în amestecătorul elicoidal *3.* În continuare, pasta se trece prin intermediul unui dispozitiv de vibrare *6,* care realizează îndepărtarea aerului inclus, în camera *4* conectată la vid. În această cameră se realizează o deshidratare parțială a amestecului, după care el intră în presa melc *5* și este extrus prin filiera *7,* care are forma produsului ce trebuie realizat. Produsele rezultate sînt preluate prin intermediul unui suport acționat de rola *8* și așezate pe o masă *9* cu înclinare variabilă. Apoi, produsele sînt tăiate la dimensiuni, cu dispozitivul *10* și sînt supuse întăririi preliminare — 24 ore în atmosferă saturată în umiditate și întăririi definitive — în condiții normale sau prin tratament termic.

După un asemenea procedeu se pot fasona panouri cu secțiuni variate, care pot avea lungimi de pînă la 4,5 m și lățimi de 0,45—0,75 m.

Pe linia modernizării tehnologiilor existente s-a acționat îndeosebi în sensul *îmbunătățirii capacității de filtrare a masei de azbociment, realizată cu sortimente inferioare de azbest,* precum și în sensul *îmbunătățirii gradului de defibrare și al asigurării unei compactități cît mai mari a plăcilor.*

O preocupare majoră în acest domeniu o constituie *înlocuirea parțială sau chiar totală a azbestului,* material de import pentru multe din țările producătoare de azbociment.

Pe plan mondial se practică în unele țări înlocuirea parțială a azbestului la fabricarea plăcilor de azbociment cu fibre minerale artificiale. Aceasta pune însă unele probleme, îndeosebi în ceea ce privește adeziunea între fibre și pasta de ciment.

Și în țara noastră a fost experimentată înlocuirea parțială a azbestului cu fibre minerale — sub formă de vată sau fibre trase.

Scanned with OKEN Scanner

12. PROTECȚIA MUNCII ÎN INDUSTRIA LIANȚILOR ȘI AZBOCIMENTULUI

Protecția muncii face parte integrantă din procesul de muncă, avînd ca scop final asigurarea desfășurării acestuia în deplină siguranță, prin înlăturarea factorilor ce pot cauza îmbolnăviri sau accidente ale personalului muncitor.

Protecția muncii cuprinde :

— tehnica securității muncii, care se referă la folosirea corectă a diferitelor dispozitive și mijloace tehnice de siguranță, la respectarea anumitor reguli de muncă și norme tehnice de organizare a locului de muncă ;

— higiena muncii, care vizează probleme de higienă industrială, menite să asigure condiții de muncă nevătămătoare ;

— legislația muncii, care cuprinde totalitatea legilor, decretelor, hotărîrilor și altor acte normative, a căror respectare este obligatorie în organizarea și desfășurarea muncii.

Industria lianților presupune desfășurarea etapizată a unor anumite procese tehnologice, care în final conduc la obținerea produsului finit. Problemele legate de protecția muncii pot fi tratate ca specifice fiecăreia din etapele principale ale proceselor tehnologice de fabricație.

12.1. PROBLEME DE PROTECȚIA MUNCII LA EXTRAGEREA MATERIILOR PRIME

Extragerea materiilor prime destinate industriei lianților se realizează în cea mai mare parte prin folosirea explozivilor. Se impune folosirea numai a explozivilor omologați, conform standardelor și normativelor în vigoare. Păstrarea explozivilor trebuie să se facă în depozite de suprafață sau subterane, ferite de umezeală și de foc.

Scanned with OKEN Scanner

Capsele detonante pirotehnice și electrice se recepționează numai pe baza unor certificate care să ateste că ele corespund prescripțiilor impuse.

Pentru evitarea accidentelor în cartiere, este interzisă amorsarea electrică în condițiile existenței unei umidități atmosferice ridicate sau a prezenței descărcărilor electrice. În aceste condiții este indicată folosirea fitilului detonant.

Înainte de efectuarea derocării materialului cu ajutorul explozivilor se impun unele măsuri privind protecția muncii și anume :

— eliberarea terenului din zona exploziei, prin evacuarea oricăror utilaje și a personalului muncitor din această zonă ;

— marcarea prin panouri de avertizare a căilor de acces spre zona exploziei.

După explozie se verifică starea frontului de lucru. Curățarea acestuia de blocurile incomplet desprinse din zăcământ, care prezintă un pericol pentru personalul muncitor, trebuie făcută zilnic, de către personal calificat, echipat corespunzător (cu centuri de siguranță, căști de protecție, frînghii și unelte corespunzătoare).

Pentru desfășurarea în condiții bune a transportului materiilor prime în carieră, se impune degajarea drumurilor de acces după fiecare explozie.

Transportul materiilor prime de la carieră la fabrică se face pe baza unor grafice de circulație, stabilite și controlate de către serviciul transporturi, în ale cărui atribuții intră și controlarea stării căilor și mijloacelor de transport, precum și menținerea lor în condiții bune de exploatare.

12.2. PROBLEME DE PROTECȚIA MUNCII LA OPERAȚIILE DE MĂRUNȚIRE

Desfășurarea proceselor de mărunțire — a materiilor prime sau a lianților — în condiții tehnologice corespunzătoare și de deplină securitate, presupune luarea unor măsuri anterioare procesului și respectarea unor anumite prescripții.

Ca măsuri premergătoare desfășurării procesului de mărunțire sînt de menționat :

— verificarea stării tehnice a utilajelor (concasoare, mori, instalații de dozare, instalații de separare etc.) ;

— verificarea instalațiilor electrice de comandă și oprire automată în cazul apariției unor defecțiuni ;

Scanned with OKEN Scanner

— verificarea stării apărătoarelor pieselor în mișcare și a tuturor dispozitivelor de protecția muncii ;

— verificarea condițiilor necesare bunei funcționări a instalațiilor de mărunțire, din punct de vedere tehnologic, cum sînt alimentarea corespunzătoare a concasoarelor și morilor și evacuarea produsului mărunțit, existența unor spații disponibile pentru depozitare, funcționarea în condiții bune a instalațiilor de separare și clasare etc. ;

— verificarea instalațiilor de desprăfuire.

Orice defecțiune semnalată se impune a fi imediat remediată. Oprirea instalației pentru efectuarea diverselor intervenții trebuie să se facă în sensul fluxului de material, pentru a se evita înfundările și pentru ca toate utilajele să se golească de material.

Instalațiile de mărunțire sînt constituite în principal din agregate mari în continuă mișcare. Pentru evitarea accidentelor este necesară respectarea riguroasă a unor norme de protecția muncii :

— montarea utilajelor mari să se facă pe fundații solide ;

— piesele în mișcare să fie prevăzute cu plase protectoare din sîrmă, iar de-a lungul morilor să fie montate parapete din profile laminate sau din lanțuri ;

— platformele și scările să fie prevăzute cu balustrade ;

— în timpul funcționării este interzisă circularea pe sub moară ; aceasta este permisă numai prin locuri special amenajate sub moară, avînd dimensiuni minime de 1 m lățime și 2 m înălțime și acoperite cu apărători din plasă de sîrmă ;

— în timpul lucrărilor de reparații în interiorul morii (înlocuiri de blindaje sau elemente de grătar) se impune blocarea utilajului pentru a se evita rotirea accidentală ; de asemenea, se impune ventilarea corespunzătoare a incintei morii.

Atît pentru buna funcționare a utilajelor, cît și pentru protejarea muncitorilor care lucrează în secțiile de mărunțire, concentrația de praf din atmosferă nu trebuie să depășească 150 mg/Nm^3. Pentru aceasta este necesară echiparea tuturor instalațiilor de mărunțire și transport cu dispozitive pentru captarea prafului (filtre cu saci, electrofiltre).

Deosebit de nocivă pentru sănătatea oamenilor este depășirea unui anumit nivel de intensitate a zgomotului (50—70 dB). Întrucît în secțiile de mărunțire aceste limite se depășesc frecvent, pentru protejarea personalului muncitor se impune luarea unor măsuri speciale cum ar fi : izolarea utilajului producător de zgomot cu mate-

Scanned with OKEN Scanner

riale fonoabsorbante, aplicarea de plăci fonoabsorbante pe pereții halelor în care funcționează utilajele producătoare de zgomot, purtarea de dopuri fonoizolatoare pentru protejarea aparatului auditiv.

12.3. PROBLEME DE PROTECȚIA MUNCII LA OPERAȚIILE DE USCARE ȘI ARDERE

Procesele termice care conduc la obținerea lianților se desfășoară în agregate de dimensiuni mari — cuptoare rotative sau verticale. Conducerea acestora necesită personal calificat corespunzător și dotat cu echipamentul de protecție corespunzător.

Pornirea cuptoarelor, după opririle impuse de necesitatea unor intervenții, se face numai de către personalul care conduce procesul de ardere (cocător), după ce în prealabil a fost efectuat un control amănunțit al tuturor instalațiilor și au fost luate toate măsurile pentru evitarea unor accidente.

O atenție deosebită trebuie acordată alimentării instalației de ardere cu combustibil și aer, astfel încît să se evite arderea incompletă a combustibilului, ceea ce poate da naștere la formarea unor amestecuri explozive în instalațiile conectate după cuptor, lucru deosebit de periculos.

În timpul funcționării cuptorului rotativ de clincher, circulația se va efectua numai pe căi de acces special amenajate, menținute în permanentă curățenie (trebuie îndepărtate îndeosebi granulele de clincher, în care scop pardoseala căilor de acces se execută din grătare care să permită căderea granulelor).

Lucrările de remediere a avariilor apărute la cuptoarele rotative sau verticale trebuie să fie executate numai de personal avînd o calificare corespunzătoare și în condiții de deplină siguranță :

— cuptorul va fi eliberat complet de material (inclusiv schimbătoarele de căldură) și lăsat un anumit timp pentru ca temperatura să scadă sub 40 °C ; în cazul cuptorului rotativ, mișcarea de rotație nu trebuie oprită pentru a se evita flambarea sa ;

— lucrările de îndepărtarea blocajelor din cuptoarele verticale trebuie să se execute de pe platforma cuptorului, de către muncitori dotați cu curele de siguranță și cu unelte corespunzătoare ;

— utilajele care servesc la ridicarea și introducerea în cuptor a blocurilor de zidărie trebuie bine verificate anterior, pentru a se asigura funcționarea lor corespunzătoare în timpul lucrărilor de reparații.

Scanned with OKEN Scanner

12.4. PROBLEME DE PROTECȚIA MUNCII LA FABRICAREA PRODUSELOR DE AZBOCIMENT

În fabricile de azbociment, utilizarea azbestului ca materie primă impune luarea și respectarea unor măsuri specifice de tehnica securității și protecția muncii.

În *secția de pregătire a azbestului și de preparare a amestecului de azbociment* trebuie acordată o atenție deosebită funcționării corespunzătoare a utilajelor de mărunțire, de defibrare și amestecare. În acest sens este important în primul rînd să se asigure condiții optime de etanșare și ventilație, pentru a se evita poluarea atmosferei cu praf de azbest, deosebit de dăunător organismului uman. Orice operație de curățare, verificare, reparare a colergangului, holenderului sau malaxorului trebuie făcută numai după oprirea acestor utilaje. Părțile în mișcare ale diferitelor instalații trebuie prevăzute cu apărătoare de protecție.

În *secția de formare a produselor* se impun următoarele măsuri de tehnica securității și protecția muncii :

— roțile dințate și transmisiile cu lanț ale mașinii de formare trebuie să fie prevăzute cu carcase de protecție ; de asemenea, partea frontală a tamburului de formare trebuie să fie înconjurată cu un cadru protector din plăci de oțel ;

— scoaterea și înlocuirea diferitelor părți ale instalației de formare, ca și orice alte intervenții asupra acesteia, se pot face numai după oprirea completă a instalației ;

— trebuie evitată deversarea și staționarea suspensiei de azbociment pe pardoseala halei de fabricație, pentru a preveni alunecarea și accidentarea muncitorilor.

La *secția de finisare și colorare* (după întărire) a produselor de azbociment se impun următoarele măsuri specifice :

— la mașinile de prelucrat și finisat se vor monta carcase de protecție ; îndepărtarea deșeurilor rezultate la aceste mașini se va face numai după oprirea lor, folosind unelte corespunzătoare ;

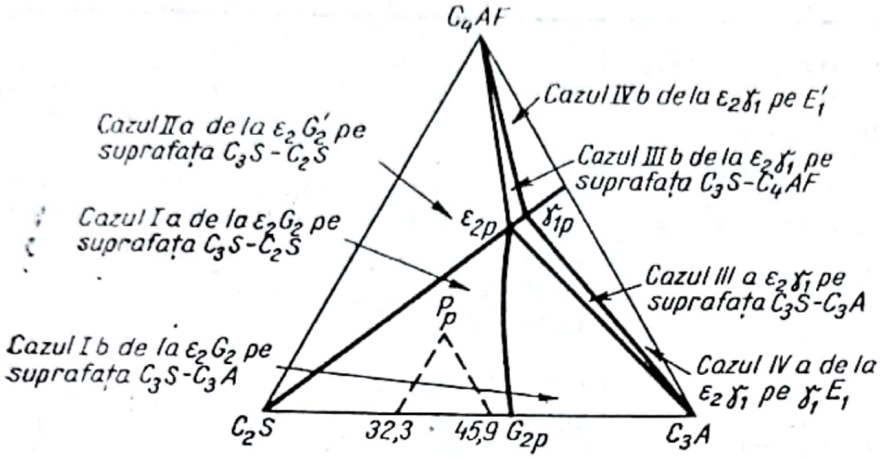
— se recomandă echiparea acestor utilaje cu dispozitive de captare a prafului rezultat în timpul operațiilor de prelucrare și finisare ;

— se interzice aprinderea focului în locurile unde se realizează colorarea elementelor de azbociment prin aplicarea de lacuri organice ; temperatura în aceste încăperi nu trebuie să depășească 16—20 °C ;

— se impune realizarea unei bune ventilații a secției de colorare, datorită utilizării pentru colorare a lacurilor organice.

Scanned with OKEN Scanner

Relațiile lui Dahl pentru calculul compoziției mineralogice la răcire rapidă



Proiecția conică a suprafețelor eutectice pe planul $C_2S-C_3A-C_4AF$ conținînd graficul mecanismului de topire și solidificare la clincherul de ciment portland.

Tipul clincherului	Răcire bruscă de la o anumită temperatură (topitura rămîne ca sticlă *)	Răcirea moderată de la o anumită temperatură (topitura cristalizează independent)	Temperatura de răcire
1	2	3	4
	Cazul I		
T_I	$C_3S=A-0{,}03D$ $C_2S=B-0{,}32D$ $C_3A=C-0{,}64D$ $L=1{,}99D$		1 338°C — Corespunzător eutecticului ε_2
T_{II}	$C_3S=A-0{,}04C$ $C_2S=B-0{,}50C$ $C_4AF=D-1{,}56C$ $L=3{,}10C$		
T_{III}	$C_3S=A-0{,}08B$ $C_3A=C-1{,}99B$ $C_4AF=D-3{,}11B$ $L=6{,}18B$		

*) Cu A, B, C și D s-a notat conținutul potențial în C_3S, C_2S, C_3A și respectiv C_4AF iar cu L — conținutul potențial de fază lichidă, în procente.

Scanned with OKEN Scanner

Anexa 1 (continuare)

1	2	3	4
Cazul II — lichidul părăsește $\varepsilon_2 \cdot G_2$ pentru a parcurge suprafața $C_3S - C_2S$			
T_{Ia} $0{,}64 < \frac{C}{D} < 0{,}86$	$C_3S = A + 0{,}65C - 0{,}44D$ $C_2S = B + 0{,}17D$ $L = 1{,}12C + 1{,}27D$		$1\,436 - \frac{195\,D}{L}$
T_{Ia} $0{,}86 < \frac{C}{D} < 3{,}33$	$C_3S = A + 0{,}65C - 0{,}44D$ $C_2S = B + 0{,}17D - 0{,}77C$ $L = 1{,}12C + 1{,}27D$	$C_3S = A + 0{,}65C - 0{,}45D$ $C_2S = B + 0{,}34D - 0{,}49C$ $C_3A = 0{,}42C - 0{,}40D$ „C_5A_3“ $= 0{,}42C - 0{,}29D$ $C_4AF = D$	$1\,436 - \frac{195\,D}{L}$
T_{Ia} $\frac{C}{D} > 3{,}33$	$C_3S = A + 0{,}58C - 0{,}19D$ $C_2S = B - 0{,}72C$ $L = 1{,}14C + 1{,}19D$	$C_3S = A + 0{,}58C - 0{,}19D$ $C_2S = B + 0{,}15D - 0{,}44C$ $C_3A = 0{,}49C + 0{,}17D$ „C_5A_3“ $= 0{,}37C - 0{,}13D$ $C_3AF = D$	$1\,455 - \frac{290\,D}{L}$
Cazul III — lichidul părăsește $\varepsilon_2 \cdot G_2$ pentru a parcurge suprafața $C_3S - C_3A$			
T_{Ib} $0{,}32 < \frac{B}{D} < 0{,}35$	$C_3S = A + 0{,}85B - 0{,}30D$ $C_3A = C - 1{,}30B - 0{,}23D$ $L = 1{,}45B + 1{,}53D$		$1\,436 - \frac{195\,D}{L}$
T_{Ib} $0{,}35 < \frac{B}{D} < 2{,}40$	$C_3S = A + 0{,}85B - 0{,}30D$ $C_3A = C - 1{,}30B - 0{,}23D$ $L = 1{,}45B + 1{,}53D$	$C_3S = A + 0{,}85B - 0{,}30D$ $C_2S = 0{,}36B + 0{,}22D$ $C_3A = C + 0{,}27D - 0{,}75B$ „C_5A_3“ $= 0{,}54B - 0{,}19D$ $C_2AF = D$	$1\,436 - \frac{195\,D}{L}$
T_{Ib} $\frac{B}{D} > 2{,}40$	$C_3S = A + 0{,}80B - 0{,}19D$ $C_3A = C - 1{,}39B - 0{,}01D$ $L = 1{,}59B + 1{,}20D$	$C_3S = A + 0{,}80B - 0{,}19D$ $C_2S = 0{,}40B + 0{,}14D$ $C_3A = C - 0{,}71B + 0{,}17D$ „C_5A_3“ $= 0{,}15B - 0{,}12D$ $C_4AF = D$	$1\,455 - \frac{290\,D}{L}$
Cazul IV — lichidul părăsește $^{\omega}{}_2 \cdot G'_2$ pentru a parcurge suprafața $C_3S - C_2S$			
T_{IIa} $0 \leqslant \frac{C}{D} < 0{,}10$	$C_3S = A + 0{,}11C - 0{,}30D$ $C_2S = B + 0{,}1D - 0{,}12C$ $L = 1{,}01C + 1{,}29D$	$CaO = 0{,}004D - 0{,}04C$ $C_3S = A + 0{,}16C - 0{,}016D$ $C_2S = B + 0{,}012D - 0{,}12C$ $C_3A = C$ $C_4AF = D$	$1\,320 + \frac{36\,D}{L}$

Scanned with OKEN Scanner

Anexa 1 (continuare)

1	2	3	4
T_{IIa} $0{,}10 < \frac{C}{D} < 0{,}34$	$C_3S = A + 0{,}35C - 0\,32D$ $C_2S = B - 0{,}40C + 0{,}04D$ $L = 1{,}07C + 1{,}28D$		$1\,320 + \frac{36\,D}{L}$
T_{II} $0{,}34 < \frac{C}{D} < 0{,}64$	$C_3S = A + 0{,}60C - 0{,}41D$ $C_2S = B + 0{,}45D - 0{,}74C$ $L = 1{,}14C + 1{,}26D$		$1\,320 + \frac{36D}{L}$
Cazul V — lichidul pe suprafața $C_3S - C_2S$			
T_{IIa} $0 < \frac{C}{D} < 0{,}26$	$C_3S = A + 0{,}15C - 0{,}42D$ $C_2S = B + 0{,}05D - 0{,}19C$ $L = 1{,}04C + 1{,}37D$	$CaO = 0{,}016D - 0{,}06C$ $C_3S = 0{,}25C - 0{,}065D$ $C_3S = 0{,}049D - 0{,}19C$ $C_3A = C$ $C_4AF = D$	1 400°C
T_{IIa} $0{,}26 < \frac{C}{D} < 0{,}64$	$C_3S = A + 0{,}62C - 0{,}54D$ $C_2S = B + 0{,}20D - 0{,}76C$ $L = 1{,}14C + 1{,}34D$		1 400°C
T_{Ia} $0{,}64 < \frac{C}{D} < 0{,}86$	$C_3S = A + 0{,}66C - 0{,}57D$ $C_2S = B + 0{,}21D - 0{,}77C$ $L = 1{,}14C + 1{,}36D$		1 400°C
T_{Ia} $0{,}86 < \frac{C}{D} < 0{,}33$	$C_3S = A + 0{,}66C - 0{,}57D$ $C_2S = B + 0{,}21D - 0{,}77C$ $L = 1{,}11C + 1{,}36D$	$C_3S = A + 0{,}66C - 0{,}57D$ $C_2S = B + 0{,}43D - 0{,}50C$ $C_3S = 0{,}41C + 0{,}51D$ „C_5A_3“ $= 0{,}43C - 0{,}37D$ $C_4AF = D$	1 400°C
T_{Ia} $3{,}33 < \frac{C}{D} < 4{,}71$	$C_3S = A + 0{,}67C - 0{,}62D$ $C_2S = B + 0{,}22D - 0{,}77C$ $L = 1{,}10C + 1{,}40D$	$C_3S = A + 0{,}67C - 0{,}62D$ $C_2S = B + 0{,}47D - 0{,}51C$ $C_3A = 0{,}40C + 0{,}55D$ „C_5A_3“ $= 0{,}44C - 0{,}40D$ $C_4AF = D$	1 400°C
Cazul VI — lichidul pe suprafața $C_3S - C_2S$			
T_{IIa} $0 < \frac{C}{D} < 0{,}16$	$C_3S = 0{,}48C - 0{,}54D$ $C_2S = B - 0{,}64C + 0{,}11D$ $L = 1{,}16C + 1{,}43D$	$CaO = 0{,}03D - 0{,}21C$ $C_3S = A + 0{,}85C - 0{,}14D$ $C_2S = B - 0{,}64C + 0{,}11D$ $C_3A = C$ $C_4AF = D$	1 450°C
T_{IIa} $0{,}16 < \frac{C}{D} < 0{,}64$	$C_3S = A + 0{,}48C - 0{,}54D$ $C_2S = B - 0{,}64C + 0{,}11D$ $L = 1{,}16C + 1{,}43D$		1 450°C

Scanned with OKEN Scanner

Anexa 1 (continuare)

1	2	3	4
T_{Ia} $0{,}64 < \frac{C}{D} < 1{,}03$	$C_3S = A + 0{,}60C - 0{,}61D$ $C_2S = B - 0{,}72C + 0{,}16D$ $L = 1{,}12C + 1{,}45D$		1 450°C
T_{Ia} $1{,}03 < \frac{C}{D} < 3{,}33$	$C_3S = A + 0{,}60C - 0{,}61D$ $C_2S = B - 0{,}72C + 0{,}16D$ $L = 1{,}12C + 1{,}45D$	$C_3S = A + 0{,}60C - 0{,}61D$ $C_2S = B - 0{,}45C + 0{,}46D$ „C_5A_3“ $= 0{,}38C - 0{,}39D$ $C_4AF = D$	1 450°C
T_{Ib} $3{,}33 < \frac{C}{D} < 12{,}5$	$C_3S = A + 0{,}64C - 0{,}73D$ $C_2S = B - 0{,}75C + 0{,}24D$ $L = 1{,}11C + 1{,}49D$	$C_3S = A + 0{,}64C - 0{,}73D$ $C_2S = B - 0{,}48C + 0{,}55D$ $C_3A = 0{,}43C + 0{,}65D$ „C_5A_3“ $= 0{,}41C - 0{,}47D$ $C_4AF = D$	1 450°C

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Teoreanu I. *Bazele tehnologiei lianţilor.* Editura tehnică, Bucureşti. 1975.
2. Teoreanu I. *Tehnologia betoanelor şi azbocimentului.* Editura Didactică şi Pedagogică, 1977.
3. Teoreanu I., Ciocea N. *Lianţi, mase şi betoane refractare.* Editura tehnică, Bucureşti, 1977.
4. Beilich E., Becherescu D. *Cuptoare şi utilaje in industria silicaţilor.* Vol. I Cuptoare. Editura Didactică şi Pedagogică, 1973.
5. Beilich E., Becherescu D., Thaler. M. *Cuptoare şi utilaje în industria silicaţilor.* Vol. II Maşini şi aparate. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1973.
6. Teoreanu I., Becherescu D., Beilich E., Rehner H. *Instalaţii termotehnologice — lianţi, sticlă, ceramică.* Editura tehnică, Bucureşti, 1979.
7. Georgescu M., Puri A. *Tehnologia lianţilor.* Institutul Politehnic Bucureşti, 1978.
8. Georgescu M., Puri A. *Tehnologia betoanelor şi azbocimentului.* Institutul Politehnic — Bucureşti, 1980.
9. Andrieş I., Barboloviciu L., Dumitrescu C., Bilcescu C., Dumitrescu Cr., Onea I. *Tehnologia lianţilor şi azbocimentului.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1977.
10. Duda W. H. *Informaţii privind tehnologia fabricării cimentului* (trad. din lb. germană). MEFMC.
11. Schneider W., Jannsen W., Bornschein G. *Tehnologia lianţilor pentru construcţii* (în limba germană). VEB Verlag für Bauwesen Berlin, 1979.
12. Sokolov P. N. *Fabricarea produselor de azbociment* (în limba rusă). Izd. Vîsşaia Skola, Moskva, 1970.

Scanned with OKEN Scanner

Control științific : Dr. ing. Nicolae Ciocea
Redactor : ing. Mariana Georgescu
Tehnoredactor : Elly Gorun
Coperta : Marin Dan

Bun de tipar : 20.09.1982. Coli de tipar : 19,75.
C.Z. 6 669 : 666 858.

Întreprinderea poligrafică „Banat" Timișoara,
Calea Aradului nr. 1.
Comanda nr. 100

Scanned with OKEN Scanner